



SKRIPSI - ME141501

**STUDI EKSPERIMEN PENGGUNAAN *ICE GEL PROPYLENE GLYCOL* SEBAGAI MEDIA PENDINGIN *COOLBOX* KAPAL IKAN TRADISIONAL**

ANDRI CAHYA SAPUTRA  
NRP. 4213 100 048

Dosen Pembimbing  
Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



SKRIPSI - ME141501

**STUDI EKSPERIMEN PENGGUNAAN *ICE GEL PROPYLENE GLYCOL* SEBAGAI MEDIA PENDINGIN COOLBOX KAPAL IKAN TRADISIONAL**

ANDRI CAHYA SAPUTRA  
NRP. 4213 100 048

Dosen Pembimbing  
Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc

Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**BACHELOR THESIS - ME141501**

# **AN EXPERIMENTAL STUDY OF ICE GEL IN COOL BOX FOR SMALL FISHING VESSEL**

**ANDRI CAHYA SAPUTRA**  
NRP. 4213 100 048

Supervisor  
Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc

Departement of Marine Engineering  
Faculty of Marine Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**STUDI EKSPERIMEN PENGGUNAAN ICE GEL PROPYLENE GLYCOL**  
**SEBAGAI MEDIA PENDINGIN COOLBOX KAPAL IKAN TRADISIONAL**

**SKRIPSI.**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelara Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)  
Progam Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**Andri Cahya Saputra**  
**NRP 4213 100 048**

Disetujui oleh  
Pembimbing Skripsi:

Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc  
NIP. 196801291992031001



SURABAYA  
JULI 2017



“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**STUDI EKSPERIMEN PENGGUNAAN ICE GEL PROPYLENE GLYCOL**  
**SEBAGAI MEDIA PENDINGIN COOLBOX KAPAL IKAN TRADISIONAL**

**SKRIPSI.**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**Andri Cahya Saputra**  
**NRP 4213 100 048**

Disetujui oleh  
Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT.  
NRP 197708022008011007

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa: **Pada laporan skripsi yang saya susun ini tidak terdapat tindakan plagiarisme, dan menyatakan dengan sukarela bahwa semua data, konsep, rancangan, bahan tulisan, dan materi yang ada dilaporan tersebut adalah milik Laboratorium Marine Machinery and System (MMS) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS yang merupakan, hasil studi penelitian dan berhak digunakan untuk pelaksanaan kegiatan-kegiatan penelitian lanjut dan pengembangannya.**

Nama : Andri Cahya Saputra  
NRP : 4213100048  
Judul : STUDI EKSPERIMEN PENGGUNAAN *ICE GEL PROPYLENE GLYCOL* SEBAGAI MEDIA PENDINGIN *COOLBOX* KAPAL IKAN TRADISIONAL  
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan FTK- ITS

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat tindakan plagiarisme, maka saya akan bertanggung jawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang diberikan oleh ITS sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

**SURABAYA, 31 JULI 2017**

**(Andri Cahya Saputra)**

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”



# **STUDI EKSPERIMEN PENGGUNAAN ICE GEL PROPYLENE GLYCOL SEBAGAI MEDIA PENDINGIN COOLBOX KAPAL IKAN TRADISIONAL**

**Nama** : Andri Cahya Saputra  
**NRP** : 4213100048  
**Departemen** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc

## **ABSTRAK**

Sebagai Negara kepulauan, Indonesia memiliki potensi tinggi pada sumber daya perikanan tangkap yang menjadi mata pencaharian sebagian besar masyarakatnya. Ikan merupakan produk yang cepat sekali rusak dan busuk pada temperatur normal, sehingga tingkat kesegaran merupakan faktor penting penentu kualitas hasil tangkapan. Penggunaan teknik-teknik pendinginan seperti es basah adalah metode yang umum digunakan dalam pengawetan ikan. Namun, disisi lain usaha perikanan tangkap di Indonesia sebagian besar masih menggunakan perahu atau kapal tradisional sehingga proses pengawetan ikan sangat terbatas. Penelitian ini mencoba untuk mengetahui pengaruh *ice gel* sebagai media pendingin alternatif pendamping es pada *coolbox* terhadap kapasitas pendinginan. Pengamatan temperatur dilakukan terhadap *ice gel* yang dikombinasikan dengan es basah pada perbandingan berat ikan:es:*ice gel* [kg], 4:4:0; 4:3:1; 4:2:2; 4:1:3; dan 4:0:4. Durasi temperatur yang dicapai dalam rentang maksimal 20°C masing-masing kombinasi berturut-turut: 1400 menit, 1530 menit, 1510 menit, 1790 menit dan 1840 menit. Perbandingan optimal dari kombinasi es basah dan *ice gel* adalah 3:1, untuk mendapatkan temperatur rendah dengan waktu pendinginan yang lebih lama.

Kata Kunci: *ice gel*, teknik pendinginan, *cool box*, *chilling*

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

## **AN EXPERIMENTAL STUDY OF ICE GEL IN COOL BOX FOR SMALL FISHING VESSEL**

**Student Name : Andri Cahya Saputra**  
**Reg. Number : 4213100048**  
**Departement : Marine Engineering**  
**Supervisor : Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc**

### **ABSTRACT**

As an archipelagic country, Indonesia has high potential resources in fisheries and become the majority of its people's livelihood. Fresh fish is a perishable product and deteriorates very rapidly at normal temperatures, so the level of freshness became an important factor to the quality of fish. The use of chilling techniques such as wet ice is a common method used in fish preservation. On the other hand, nowadays the fisheries sector in Indonesia is mostly still using traditional boats or small vessel so that fish can't preserve effectively. This research was conducted to study the effect in chilling capacity of using ice gel as an alternative chilling medium in a coolbox. The temperature observation of ice gel and wet ice combination based on the mass ratio of fish : wet ice : ice gel [kg], 4:4:0; 4:3:1; 4:2:2; 4:1:3; And 4:0:4. The optimum duration until reach the maximum range of 20°C in each combination is: 1400 minutes, 1530 minutes, 1510 minutes, 1790 minutes and 1840 minutes. The most optimal combination ratio of the wet ice with ice gel is 3:1 to achieved lower cooling temperature with longer duration.

Keyword: *ice gel, chilling techniques, cool box, chilling*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat sehingga dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir dengan judul “**STUDI EKSPERIMEN PENGGUNAAN ICE GEL PROPYLENE GLYCOL SEBAGAI MEDIA PENDINGIN COOLBOX KAPAL IKAN TRADISIONAL**” untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik, Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan. FTK-ITS. Dalam penulisan laporan ini penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, petunjuk, saran serta dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis banyak mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, ayah, ibu dan adik tercinta yang senantiasa menguntai do’a atas keberhasilan saya menempuh pendidikan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
2. Bapak Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc, selaku Dosen Pembimbing dan kepala Laboratorium Mesin Fluida dan Sistem yang telah memberikan kesempatan atas waktu bimbingan, bantuan, arahan, masukan dan nasehat selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Prof. Semin, ST, MT, Ph.D selaku dosen Wali selama menempuh pendidikan Sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan, yang telah memberikan bimbingan, bantuan, arahan, masukan dan nasehat selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS, yang telah memberikan kesempatan penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
5. Mas Febi Setyowidodo yang telah memberikan bantuan dan masukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, juga teruntuk kawan seperjuangan: Miftah Nur Hidayat, Muhammad Abidin, Mayang Krisna Wardhani, dan Arief Maulana, serta semua member laboratorium MMS dan Barakuda’13

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan dapat menjadi tambahan ilmu dan pedoman untuk melakukan penulisan selanjutnya.

Surabaya, Juli 2017

Penulis



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR PERNYATAAN .....	vii
ABSTRAK .....	ix
ABSTRACT .....	xi
KATA PENGANTAR .....	xiii
DAFTAR ISI .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
DAFTAR GAMBAR .....	xix
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan dan Manfaat .....	2
BAB II .....	3
TINJAUAN PUSTAKA .....	3
2.1. Kualitas dan Mutu Ikan .....	3
2.2. Penanganan Ikan .....	5
2.3. Metode Pendinginan .....	5
2.3.1. Metode Pengesan .....	6
2.3.2. Metode Pendinginan dengan Udara Dingin .....	9
2.3.3. Metode Pendinginan dengan Air yang Didinginkan .....	10
2.3.4. Metode Pendinginan dengan CO <sub>2</sub> Padat (Es Kering) .....	10
2.4. Teknologi Insulasi .....	11
2.5. <i>Coolbox</i> .....	13
2.6. <i>Phase Change Material</i> (PCM) .....	17
2.7. <i>Ice gel Propylene Glycol</i> .....	20
2.8. Aplikasi Perpindahan Panas Pada Proses Pendinginan Ikan .....	23
2.8.1 Panas Spesifik Ikan .....	25

2.8.2Beban Produk.....	26
2.8.3Beban Transmisi .....	26
2.8.4Pengukuran Luas Permukaan <i>Coolbox</i> .....	27
2.8.5Beban Infiltrasi .....	27
2.8.6Kebutuhan Media Pendingin (Es) .....	27
BAB III .....	29
METODOLOGI .....	29
3.1 Variabel Eksperimen.....	29
3.2 Kegiatan Eksperimen .....	30
3.2.1. Alat dan Bahan.....	30
3.2.2. Kalibrasi Termometer Digital.....	31
3.2.3. Langkah-Langkah Eksperimen .....	33
3.3 Alur Pengerjaan Tugas Akhir .....	33
3.3.1Deskripsi <i>Flowchart</i> .....	34
3.4 Eksperimen Sekunder.....	35
BAB IV .....	37
ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	37
4.1. Perhitungan.....	37
4.1.1Beban Pendinginan Eksperimen Primer .....	37
4.1.2Kebutuhan Media Pendingin .....	39
4.1.3Beban Pendinginan Eksperimen Sekunder .....	40
4.2. Analisa Kemampuan Pendinginan <i>Ice gel</i> dan Es Basah .....	42
4.3. Analisa Pengaruh Waktu Simpan <i>Ice gel</i> Terhadap Pendinginan.....	46
4.4. Analisa Kombinasi <i>Ice gel</i> dan Es Basah Terhadap Pendinginan.....	50
BAB V .....	57
KESIMPULAN DAN SARAN .....	57
5.1. Kesimpulan.....	57
5.2. Saran .....	57
DAFTAR PUSTAKA.....	59
LAMPIRAN.....	61

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ciri-ciri Ikan Segar dan Busuk.....	3
Tabel 2.2 Hubungan Saling Pengaruh antara Temperatur, Kegiatan Bakteri, Mutu Ikan dan Umur Simpan .....	4
Tabel 2.3 Keuntungan serta Kerugian Teknik Pendinginan dan Pembekuan.....	6
Tabel 2.4 Sifat Fisik Es .....	6
Tabel 2.5 Kapasitas Pemuatan Es Berdasarkan Bentuk .....	7
Tabel 2.6 Perbandingan Ukuran Es Terhadap Kecepatan Pendinginan .....	8
Tabel 2.7 Berat Es yang Diperlukan Untuk Mendinginkan 10 Kg Ikan pada Temperatur 0°C.....	9
Tabel 2.8 Perbandingan Bahan Insulasi .....	13
Tabel 2.9 Material Penyusun <i>Coolbox</i> .....	15
Tabel 2.10 Keunggulan dan Kelemahan PCM Berdasarkan Basis .....	18
Tabel 2.11 Karakteristik <i>Ice gel</i> Berat 1 Kg.....	20
Tabel 2.12 Rangkuman Sifat Fisik PG dengan Konsentrasi 100%.....	21
Tabel 2.13 Sifat-Sifat PG Dalam Berbagai Konsentrasi Campuran .....	22
Tabel 2.14 Spesifikasi Produk <i>Ice gel</i> dari InoacThai .....	23
Tabel 3.1 Jenis- Jenis Variabel dalam Eksperimen .....	29
Tabel 3.2 Jenis- Jenis Variasi Eksperimen.....	29
Tabel 3.3 Perhitungan Kalibrasi Termometer Digital.....	32
Tabel 3.4 Jenis- Jenis Variasi Eksperimen Sekunder.....	35

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Penurunan Kualitas Ikan; Lean Fish .....	5
Gambar 2.2 <i>Coolbox</i> yang Biasa Digunakan Nelayan.....	14
Gambar 2.3 <i>Coolbox</i> Styrofoam dengan Rangka Kayu .....	16
Gambar 2.4 Kurva Teoritis Panas Laten Untuk Transisi Fase Cair Padat .....	17
Gambar 2.5 Grafik Pengelompokan Jenis Dari PCM .....	18
Gambar 2.6 <i>Ice gel</i> Kemasan Plastik .....	20
Gambar 2.7 Diagram Fase Campuran <i>Propylene Glycol</i> dan Air pada 100 kPa ...	22
Gambar 2.8 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pencairan Es Dalam <i>Coolbox</i> ...	24
Gambar 2.9 Pengaruh Fraksi Air Terhadap Pendinginan Ikan.....	25
Gambar 3.1 <i>Coolbox</i> Eksperimen .....	30
Gambar 3.2 Skema Penempatan Probe Sensor Termometer Digital .....	31
Gambar 3.3 Grafik Distribusi Temperatur Hasil Pengukuran.....	32
Gambar 3.4 Alur Pengerjaan Tugas Akhir .....	33
Gambar 3.5 Kotak Styrofoam pada Eksperimen Sekunder .....	35
Gambar 4.1 Grafik Pendinginan Es Basah Kelipatan Berat Tanpa Beban.....	42
Gambar 4.2 Grafik Pendinginan <i>Ice gel</i> Kelipatan Berat Tanpa Beban.....	43
Gambar 4.3 Perbandingan Pendinginan Es Basah dan <i>Ice gel</i> Tanpa Beban .....	44
Gambar 4.4 Pengaruh Kondisi Es Basah Pada Kapasitas Pendinginan .....	45
Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Waktu Simpan <i>Ice gel</i> Pada Pendinginan .....	46
Gambar 4.6 Perbandingan Dengan Grafik Rata-Rata Temperatur .....	48
Gambar 4.7 Grafik Temperatur Hasil Eksperimen Primer.....	49
Gambar 4.8 Grafik Temperatur Titik C .....	50
Gambar 4.9 Grafik Temperatur Titik A .....	51
Gambar 4.10 Grafik Temperatur Titik B .....	53
Gambar 4.11 Grafik Selisih Temperatur Titik A dan Titik B.....	54

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara maritim dan kepulauan terbesar (17.504 pulau) di dunia serta memiliki garis pantai sepanjang 104.000 km. Oleh karena itu potensi sumberdaya kelautan yang dimiliki Indonesia sangat besar seperti ikan pelagis besar dan kecil, ikan demersal, udang, lobster, cumi-cumi dan lainnya.

Produk perikanan memiliki sifat yang mudah sekali rusak atau busuk. Penanganannya harus dilakukan sesegera mungkin, begitu ikan tertangkap harus segera dibersihkan untuk disimpan pada penyimpanan berpendingin atau bahkan bisa langsung diolah dan dimasak untuk konsumsi. Proses yang cepat tersebut merupakan upaya menghambat proses penguraian jaringan tubuh ikan (pembusukan) akibat aktivitas bakteri yang berlangsung, sehingga kualitas dan kesegaran ikan dapat terjamin.

Usaha perikanan tangkap umum dilakukan menggunakan perahu layar dengan penyimpanan dingin secara tradisional-sederhana hingga kapal dengan fasilitas mesin pendingin berkapasitas besar dan modern. Beberapa metode penyimpanan dengan temperatur dingin (*chilling room*) seperti: pemalkahan, peng-es-an, perendaman dengan air laut yang didinginkan (*iced sea water*, *refrigerated sea water* dll), dan pendinginan menggunakan udara dingin. Pada tahun 2010 data dari Kementerian Kelautan dan Perikanan mencatat terdapat 590.352 unit kapal ikan Indonesia, namun kurang dari 2% yang tergolong modern; hanya 6.370 unit kapal yang berukuran diatas 30 GT. Selain itu sebanyak 26% yaitu 155.922 unit merupakan kapal motor inboard, lebih dari 40% yaitu 238.430 unit menggunakan motor tempel (*outboard motor*), serta sekitar 32% yaitu 189.630 unit tanpa menggunakan motor atau hanya menggunakan layar dan dayung.

Hingga saat ini, es merupakan media pendingin yang paling handal untuk digunakan di perahu atau kapal kecil bahkan di kapal besar. Namun dalam penerapan di lapangan banyak terdapat keterbatasan terutama pada perahu atau kapal kecil. Tidak tersedianya tempat penyimpanan es sebelum digunakan mengakibatkan penggunaan es tidak maksimal, meskipun durasi melaut mereka cukup pendek. Namun, masalah penurunan kualitas dan pembusukan ikan tetap menjadi perhatian utama. Beberapa upaya dilakukan untuk menghambat proses tersebut mulai dari penggunaan sak basah, daun kelapa, hingga biji buah sebagai media mempertahankan temperatur rendah dan menghambat pembusukan. Pada kapal yang berukuran besar masalah penurunan kualitas ikan tidak berpengaruh signifikan dengan penyediaan alat dan sarana pendingin yang memadai berupa es maupun *chilled sea-water* (CSW).

Tumbuhnya kesadaran mengenai pentingnya kualitas ikan dalam pemenuhan kebutuhan konsumsi, mulai meningkatkan penggunaan es sebagai media pendingin secara luas. Disisi lain penggunaan es yang tidak efektif serta ketersediaannya yang semakin terbatas (metrotvnews.com, 2016) mendorong dilakukannya inovasi-inovasi guna mengoptimalkan penggunaan es. Salah satu cara yang efektif

sekaligus ekonomis adalah penggunaan *coolbox* berinsulasi berpendingin es untuk menyimpan hasil tangkapan. *Coolbox* biasanya dibawa di perahu atau kapal kecil ke lokasi penangkapan ikan dengan jumlah es tertentu. Durasi melaut sangat tergantung pada jumlah es tersebut atau hingga tidak tersedia lagi ruang untuk menyimpan hasil tangkapan. Pada kapal besar yang mampu membawa es serta ketersediaan ruang muat yang lebih besar, durasi melaut mereka cenderung lebih lama dengan hasil tangkapan yang lebih besar. Dari segi ekonomi jelas kapal besar lebih unggul dibanding dengan kapal kecil.

Dengan adanya beragam inovasi dalam usaha refrigerasi terutama pengembangan teknologi sederhana yang kompak, ringan, serta mudah diterapkan di berbagai tipe perahu atau kapal kecil diharapkan tercipta suatu kondisi dimana operasional melaut nelayan tidak lagi terbatas oleh kuantitas es yang dimuat atau selama kemampuan es tersebut bertahan. Termasuk dengan adanya penelitian ini, akan didapatkan suatu pengaplikasian *coolbox* dengan *ice gel* sebagai media pendingin alternatif pendamping es. Penggunaan *ice gel* diharapkan mampu mengoptimalkan kapasitas pendinginan es basah sehingga penggunaan es semakin memperluas cakupan aktivitas perikanan terutama perikanan tangkap skala kecil. Terakhir, hasil penelitian ini diharapkan mampu menjadi pemacu peningkatan perikanan tangkap dalam segi kualitas, kuantitas penangkapan, kemampuan penyimpanan ikan yang lebih lama serta mengurangi kerugian pasca panen.

## 1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

- a. Bagaimana tren pendinginan dari cool box dengan pendingin es basah dan *ice gel* untuk memenuhi kebutuhan melaut nelayan tradisional (*one day fishing*)?
- b. Berapa perbandingan es basah dan *ice gel* yang paling optimal untuk memenuhi kebutuhan melaut nelayan tradisional (*one day fishing*)?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

- a. Alat pendingin ikan berupa *coolbox* yang digunakan adalah peruntukan kapal nelayan kecil atau tradisional dengan eksperimen skala laboratorium
- b. Eksperimen yang dilakukan tidak memperhitungkan struktur material yang digunakan
- c. Eksperimen yang dilakukan tidak memperhitungkan aspek ekonomi

## 1.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dan manfaat yang ingin dicapai dalam Tugas Akhir ini adalah

- a. Mengetahui tren pendinginan dari cool box dengan pendingin es basah dan *ice gel* untuk kebutuhan melaut nelayan tradisional (*one day fishing*)
- b. Mengoptimalkan performa pendinginan es basah untuk kebutuhan melaut nelayan tradisional (*one day fishing*).

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Kualitas dan Mutu Ikan

Mutu dan kualitas ikan selalu berkaitan dengan kesegarannya, karena sifat ikan yang mudah rusak atau busuk. Kadar air yang tinggi serta pH hampir netral pada tubuh ikan menjadi media yang baik bagi pertumbuhan bakteri maupun organisme lain. Berbagai proses terjadi sangat cepat setelah ikan mati seperti, perubahan secara fisik, kimia dan organoleptik menyebabkan kondisi ikan lebih cepat busuk. Perubahan tersebut berlangsung akibat adanya aktivitas enzim, mikroorganisme atau oksidasi oksigen.

Ikan segar dapat diartikan sebagai ikan yang baru ditangkap dan belum disimpan atau diawetkan. Dengan kata lain kondisi ikan masih bagus dan belum mengalami kerusakan. Selain itu kesegaran juga memiliki arti ekonomis, karena nilai mutu ikan sangat menentukan harga jual di pasaran. Produk ikan yang segar juga merupakan indikator bahwa mutu produk tersebut baik, layak konsumsi, serta jika diolah akan menghasilkan produk yang bermutu tinggi. Faktor yang merupakan penentu kesegaran ikan antara lain: jenis dan ukuran ikan, lingkungan dan cara tangkap atau panen.

Cara yang paling mudah untuk mengenali kesegaran ikan adalah menggunakan metode organoleptik atau pengamatan indrawi terhadap bagian tubuh ikan. Pengamatan dilakukan pada bagian-bagian tertentu dari tubuh ikan yang sensitif terhadap perubahan mutu daging, seperti: warna mata, insang, kulit/sisik ikan, warna dan bau. Untuk lebih lengkapnya ciri-ciri perbedaan antara ikan segar dan ikan busuk lainnya dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 2. 1 Ciri-ciri Ikan Segar dan Busuk (Manurung et al, 2008)**

Ciri	Ikan Segar	Ikan Busuk
Mata	Pupil mata menonjol dengan kornea jernih, bola mata cembung cemerlang atau cerah	Pupil mata kelabu tertutup lender seperti susu, bola mata cekung dan keruh
Insang	Warna merah cemerlang atau, merah tua tanpa adanya lendir, tidak tercium bau yang menyimpang (off odor)	Warna merah cokelat sampai keabu-abuan, bau menyengat lendir tebal
Tekstur Daging	Elastis dan jika ditekan tidak ada bekas jari serta padat atau kompak	Daging kehilangan elastisitasnya atau lunak dan jika ditekan dengan jari maka bekas tekanannya lama hilang



Keadaan Kulit dan Lendir	Warnanya sesuai dengan aslinya dan cemerlang, lendir dipermukaan jernih dan transparan dan baunya segar khas menurut jenisnya	Warnanya sudah pudar dan memucat, lendir tebal dan menggumpal serta lengket warnanya berubah seperti putih susu
Keadaan Perut dan Sayatan Daging	Perut tidak pecah masih utuh dan warna sayatan daging cemerlang serta jika dibelah daging melekat kuat pada tulang terutama rusuknya	Perut sobek, warna sayatan daging kurang cemerlang dan terdapat warna merah sepanjang tulang belakang serta jika dibelah daging mudah lepas
Bau	Spesifik menurut jenisnya dan segar seperti bau rumput laut.	Bau menusuk seperti asam asetat dan lama-kelamaan berubah menjadi bau busuk yang menusuk hidung

**Tabel 2. 2 Hubungan Saling Pengaruh antara Temperatur, Kegiatan Bakteri, Mutu Ikan dan Umur Simpan (Ilyas, 1983)**

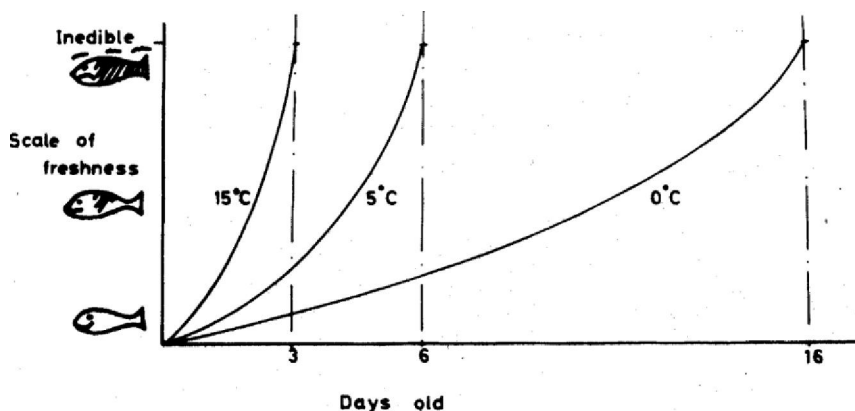
No	Temperatur	Kegiatan Bakteri	Mutu Ikan
1	Pada deret temperatur tinggi: 25 <sup>0</sup> C hingga 10 <sup>0</sup> C	Luar biasa cepat	Cepat menurun dan daya awet sangat pendek (3-10 jam)
	10 <sup>0</sup> C hingga 2 <sup>0</sup> C	Pertumbuhan lebih cepat	Mutu menurun kurang cepat, daya awetnya pendek (2-5 hari)
2	Pada deret temperatur rendah: 2 <sup>0</sup> C hingga -1 <sup>0</sup> C	Pertumbuhan bakteri jauh berkurang	Penurunan mutu agak dihambat, daya awetnya wajar (3-10 hari)
	-1 <sup>0</sup> C	Kegiatan dapat ditekan	Penurunan mutu minim, daya awet sebagai ikan basah maksimum (5-20 hari)
3	Pada deret temperatur sangat rendah: -2 <sup>0</sup> C hingga -10 <sup>0</sup> C	Dapat ditekan, tidak aktif	Penurunan mutu minimum, ikan jadi beku, tekstur dan rasa ikan rendah, daya awetnya panjang (7-30 hari)
	-18 <sup>0</sup> C dan lebih rendah	Ditekan minimum, bakteri tersisa tidak aktif	Mutu ikan beku lebih baik, daya awet sampai setahun.

## 2.2. Penanganan Ikan

Penanganan ikan harus dilakukan sesegera mungkin setelah ikan dipanen atau ditangkap dengan memperhatikan beberapa aspek berikut:

- Menghindari kondisi pemicu pembusukan ikan
- Menyegerakan usaha pendinginan ikan
- Metode distribusi atau pengiriman
- Kebersihan dan pencegahan kontaminasi

Aspek tersebut penting untuk diperhatikan berkaitan dengan usaha mempertahankan kualitas, mutu, serta harga jual ikan. Pemilahan berdasarkan jenis, ukuran dan bentuk dari ikan turut berpengaruh terhadap efektifitas pendinginan ikan. Hasil tangkapan yang dibedakan berdasarkan jenis, ukuran, dan bentuk ikan memungkinkan beban pendinginan pada ruang pendingin menjadi relatif homogen sehingga tidak terjadi perbedaan temperatur yang besar ketika dilakukan penyimpanan dingin. Selain itu dengan pemilahan tersebut penggunaan ruang pendingin lebih optimal serta perkembangan bakteri dapat lebih terkontrol. Grafik berikut memberikan gambaran pengaruh pendinginan terhadap masa simpan ikan.



Gambar 2. 1 Grafik Penurunan Kualitas Ikan; *Lean Fish* (Myers. 1981)

## 2.3. Metode Pendinginan

Prinsip dari pendinginan adalah menurunkan temperatur ikan dengan cepat hingga mencapai temperatur *chilling* atau temperatur mendekati temperatur lebur es (-1 hingga 5°C) tanpa membuat ikan menjadi beku.

Diantara teknik pengawetan atau penyimpanan ikan, teknik pendinginan dan pembekuan adalah dua teknik yang paling dekat hubungannya. Banyak faktor yang menjadi pertimbangan pemilihan diantara kedua teknik tersebut. Tabel berikut merangkum keuntungan dan kerugian penerapan masing-masing teknik:

**Tabel 2. 3 Keuntungan serta Kerugian Teknik Pendinginan dan Pembekuan (Shawyer dan Pizzali. 2003)**

<b>Pendinginan (Chilling)</b>	<b>Pembekuan (Freezing)</b>
Penyimpanan jangka pendek (beberapa hari hingga 1 bulan)	Penyimpanan jangka panjang (1 tahun atau lebih)
Temperatur penyimpanan di sekitaran 0°C	Temperatur penyimpanan di bawah 0°C; misal: -30°C
Relatif murah	Relatif mahal
Produk berupa ikan segar	Penanganan yang buruk dapat menurunkan kualitas ikan
Teknologi sederhana	Teknologi tinggi
Membutuhkan <i>skill</i> rendah	Membutuhkan <i>skill</i> tinggi
Refrigerasi bersifat portable	Cenderung instalasi statis

Terdapat 3 metode utama pendinginan yang umum digunakan dalam usaha perikanan yaitu: pengesan, pendinginan dengan udara dingin, dan pendinginan dengan air yang didinginkan. Serangkaian metode tersebut diharapkan mampu mempertahankan deret temperatur optimal pendinginan guna menekan perkembangbiakan bakteri guna menjaga mutu dan kualitas hasil tangkapan. Berikut beberapa jenis metode pendinginan ikan yang umum dilakukan antara lain:

### **2.3.1. Metode Pengesan**

Metode ini merupakan metode yang paling sederhana dan umum dilakukan. Temperatur rendah yang dihasilkan dapat menghambat pertumbuhan bakteri *psychrophilic* penyebab pembusukan ikan. Penggunaan es telah sejak lama untuk media pendingin ikan didarat maupun laut. Es harus dibuat dari air yang bersih untuk menjaga kemampuan pendinginan serta menghindari potensi kontaminasi. Berikut adalah sifat-sifat fisik es air tawar:

**Tabel 2.4 Sifat Fisik Es (Myers. 1981)**

<b>Sifat</b>	<b>Unit</b>
Titik lebur	0°C
Densitas pada 0°C	0.92 t/m <sup>3</sup>
Panas spesifik pada 0°C	0.49 Kkal/Kg °C
Panas spesifik pada -20°C	0.46 Kkal/Kg °C
Panas laten	80 Kkal/Kg
Konduktivitas termal pada 0°C	1.91 Kkal/m.jam °C
Konduktivitas termal pada -10°C	1.99 Kkal/m.jam °C
Konduktivitas termal pada -20°C	2.08 Kkal/m.jam °C

Terdapat beberapa sifat es menurut Adawyah (2007) diantaranya:

- Apabila terdapat campuran es dan air, maka tidak akan terjadi kenaikan temperatur campuran itu sebelum semua massa es mencair
- Nilai dari es dan campuran air dan es tidak sama.
- Penggunaan dari beragam jenis es harus berdasarkan berat yang sama
- Setiap jenis es yang terbuat dari air tawar memiliki kemampuan pendinginan yang sama
- Masa simpan es tidak mempengaruhi kemampuan pendinginan es. Es yang disimpan lama sama efektifnya dengan yang baru dibuat

Penggunaan es sebagai media pendingin ikan sesungguhnya sangat tergantung pada jenis ikan, tujuan pendinginan serta tempat penangkapan ikan. Secara sederhana metode ini hanya berupa mencampurkan es dengan ikan. Kontak yang terjadi antara es dengan ikan menyebabkan perpindahan panas dari tubuh ikan ke kristal es. Temperatur ikan akan turun sedangkan es akan mengalami kenaikan temperatur dan terjadi pelelehan, hingga temperatur ikan telah sama dengan es yaitu  $0^{\circ}\text{C}$ . Ukuran es turut berpengaruh terhadap kecepatan pendinginan. Es yang kecil akan memperluas permukaan kontak dengan ikan, sehingga proses pendinginan menjadi lebih cepat dibanding dengan es yang berukuran besar. Berdasarkan bentuknya terdapat 5 kelompok es antara lain:

- Es balok (Block ice), berupa balok dengan berat 12 – 60 Kg, perlu dipecahkan apabila hendak digunakan.
- Es tabung (Tube ice), berupa tabung-tabung kecil ukuran 5 cm
- Es keping tebal (Plate ice), berupa lempengan besar dengan tebal 8 – 15 mm
- Es keping tipis (Flake ice), berupa lempengan tipis dengan tebal 5 mm berdiameter 3 cm, merupakan hasil pengerukan es diatas tabung pembeku
- Es halus (Slush ice), berupa butiran halus serupa bubur es atau salju

Dibawah ini merupakan tabel kapasitas pemuatan es berdasarkan bentuknya:

**Tabel 2.5 Kapasitas Pemuatan Es Berdasarkan Bentuk (Myers. 1981)**

<b>Tipe</b>	<b>Kapasitas (<math>\text{m}^3/\text{t}</math>)</b>
Es balok hancuran (Crushed)	1.4 - 1.5
Es tabung (Tube)	1.6 - 2.0
Es keping tebal (Plate)	1.7 - 1.8
Es keping tipis (Flake)	2.2 - 2.3

Pengaruh ukuran es terhadap kecepatan pendinginan dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 2.6 Perbandingan Ukuran Es Terhadap Kecepatan Pendinginan (Materi Penyuluhan KKP. 2011)**

<b>Σ Es dari berat ikan</b>	<b>Lama Pendinginan Terhadap Ukuran Es</b>		
	<b>Besar</b>	<b>Sedang</b>	<b>Kecil</b>
	10 x 10 x 10cm	4 x 4 x 4cm	1 x 1 x 1cm
100%	154 menit	134 menit	89 menit
75%	161 menit	137 menit	95 menit
50%	192 menit	164 menit	120 menit

Inti dari metode pendinginan ini adalah mengusahakan agar menjaga es basah tidak mencair selama mungkin dalam wadah atau kotak pendingin sehingga temperatur dingin dapat dipertahankan. Beberapa kelebihan dari metode ini yaitu:

- Es basah yang dihancurkan memiliki permukaan kontak dengan ikan lebih luas, sehingga menghasilkan pendinginan yang cepat
- Air dari es yang meleleh menghasilkan efek pembilasan kontinyu pada ikan sehingga mampu membersihkan dari lendir, kotoran dan darah
- Air juga memberikan lapisan batas atau melumasi ikan sehingga ikan tidak saling menempel ketika temperatur turun yang dapat merusakkan ikan

Selain itu beberapa kekurangan metode ini, antara lain:

- Pada penyusunan es dan ikan yang tidak sesuai, es dapat berpotensi melukai dan melecehkan ikan
- Air dari es yang meleleh ternyata juga mampu melarutkan mineral dan protein dari ikan. Warna dan rasa dari ikan tertentu juga dapat berkurang akibat perendaman tersebut.
- Pada kondisi iklim panas atau tropis dibutuhkan jumlah es yang lebih banyak untuk mencukupi kapasitas pendinginan, sehingga berpengaruh besar terhadap kapasitas muat, biaya dan pengangkutan.

Terdapat dua jenis es dalam metode pengesan yaitu menggunakan es tawar dan menggunakan es air laut atau es tawar dengan garam. Es air laut atau es dengan penambahan garam menghasilkan titik lebur jauh dibawah 0°C sehingga proses pendinginan terjadi lebih cepat (sekitar -1.7°C). Selain menurunkan titik lebur es, ion-ion garam yang terurai (Na<sup>+</sup> dan Cl<sup>-</sup>) ternyata juga mampu menghambat perkembangan bakteri. Kerugian yang ditimbulkan dari metode campuran es dan garam mengakibatkan ikan menjadi lebih asin serta kandungan air dalam ikan berkurang akibat proses osmosis dalam larutan garam.

Praktek dilapangan menunjukkan, jumlah es yang dibutuhkan untuk menjaga temperatur optimal pendinginan dalam rentang waktu tertentu tidak sedikit. Untuk daerah tropis umumnya menggunakan rasio 1:1. Perbandingan es dan ikan yang digunakan sangat mempengaruhi radius dan durasi melaut nelayan.

Berikut tabel yang menunjukkan berat es basah yang diperlukan untuk mendinginkan 10 kg ikan pada temperatur 0°C.

**Tabel 2.7 Berat Es yang Diperlukan Untuk Mendinginkan 10 Kg Ikan pada Temperatur 0°C (Shawyer dan Pizzali, 2003)**

Temperatur Ikan (°C)	Berat Es yang Dibutuhkan (Kg)
30	3,4
25	2,8
20	2,3
15	1,7
10	1,2
5	0,6

Untuk jumlah ikan yang lebih besar, nilai diatas berfungsi menjadi faktor pengali untuk mendapatkan pendekatan jumlah es yang harus digunakan. contoh: untuk ikan 100 kg pada temperatur sekitar 30°C maka dibutuhkan 34 kg es atau mendekati 1:3 untuk mencapai 0°C. Jumlah es yang diperoleh dari perhitungan tabel diatas merupakan jumlah es apabila tidak ada *losses* dari infiltrasi panas, sehingga tabel tersebut kurang sesuai apabila digunakan secara praktis di lapangan. Sudah tentu dalam praktiknya dibutuhkan lebih dari jumlah es perhitungan tersebut, namun nilai tersebut disepakati sebagai nilai minimum yang dibutuhkan untuk menjaga temperatur di sekitar 0°C. Pada iklim tropis perbandingan 1:1 digunakan, meskipun perbandingan 1:3 tersebut juga banyak diterapkan.

### **2.3.2. Metode Pendinginan dengan Udara Dingin**

Cara kerja metode pendinginan ini yaitu dengan mengalirkan udara dingin masuk pada ruang pendingin. Media pendingin dengan udara yang digunakan banyak digunakan untuk penyimpanan atau transport distribusi ikan menggunakan mobil boks, container, gerbong kereta, sedangkan pada kapal terbatas pada kapal dengan durasi pelayaran yang lama. Beberapa karakteristik dari metode ini adalah sebagai berikut:

- Kecepatan pendinginan metode udara dingin cenderung lebih lambat pada temperatur yang sama dibandingkan dengan metode pendinginan air dingin atau es
- Terjadi efek pengeringan atau dehidrasi ikan yang menjadikan ikan terlihat kusam serta penurunan berat ikan
- Pada metode ini tidak terjadi efek pencucian ikan karena tidak terdapat air yang membas ikan seperti pada metode pendinginan es

Ilyas dalam Teknologi Refrigerasi Perikanan menjelaskan bahwa penerapan metode ini lebih berpotensi pada pengawetan tanpa es untuk produk olahan dibandingkan metode lain.

### **2.3.3. Metode Pendinginan dengan Air yang Didinginkan**

Pendinginan jenis ini banyak digunakan untuk instalasi pendingin ikan di kapal. Pada buku Refrigerasi Hasil Perikanan (Ilyas. 1983) ada 6 jenis variasi dalam metode pendinginan air dingin yaitu:

- a. Air tawar didinginkan dengan es; ADI (chilled fresh water, CFW)
- b. Air laut didinginkan dengan es; ALDI (chilled sea water, CSW)
- c. Air laut didinginkan secara mekanis; ALREF (refrigerated sea water, RSW)
- d. Air tawar didinginkan secara mekanis; AREF (refrigerated fresh water, RFW)
- e. Air garam didinginkan dengan es; AGADI (chilled brine, CB)
- f. Air garam didinginkan secara mekanis; AGAREF (refrigerated brine, RB)

Metode ini memiliki kemampuan pendinginan yang lebih baik daripada dengan es karena permukaan kontak dengan ikan lebih luas. Disisi lain metode ini juga memiliki kelemahan seperti: temperatur yang dihasilkan tidak serendah yang dihasilkan metode pengesan dan kerentanan dalam penerapannya terutama pada aspek kebersihan dan kesehatan ikan (Ilyas. 1983).

Proses pendinginan yang terjadi berbeda dengan proses pada metode pengesan. Temperatur air akan naik secara drastis ketika dicampur dengan ikan secara langsung, berbeda dengan es yang tidak mengalami kenaikan temperatur saat mendinginkan.

Kelebihan metode ini dari metode pengesan adalah pendinginan berlangsung lebih cepat, ikan lebih aman dari kerusakan akibat tekanan, serta terjadi pembilasan pada ikan sehingga lebih bersih. Adapun kekurangan metode air yang didinginkan dibandingkan metode pengesan: untuk beberapa jenis ikan atau hasil perikanan tertentu kondisi perendaman di air justru lebih mempercepat proses pembusukan, selain itu air yang menggenang menyebabkan konsentrasi kotoran dan berpotensi meningkatkan pertumbuhan bakteri.

### **2.3.4. Metode Pendinginan dengan CO<sub>2</sub> Padat (Es Kering)**

Penggunaan CO<sub>2</sub> padat atau es kering dalam penanganan produk perikanan hingga saat ini masih terbatas pada keperluan pengawetan ekspor produk perikanan. Beberapa hasil uji dan aplikasi es kering telah dilakukan sebelumnya seperti: Budiarto et al. 2003 mengaplikasikan es kering sebagai media pendingin ruangan. Hidayat et al. 2003 melakukan pengujian penggunaan es kering sebagai media pendingin ikan dalam distribusi rantai dingin. Koulet. 1995 juga telah menyelidiki efek penggunaan es kering pada ruang pendingin daging. Berbagai penelitian diatas membuktikan potensi yang dimiliki es kering sebagai media pendingin dan pengawet.

Es kering merupakan bentuk padatan gas karbondioksida dengan temperatur permukaan mencapai  $-78^{\circ}\text{C}$ . Es kering diproduksi dengan cara mengkondensasikan gas karbondioksida bertekanan tinggi menjadi cairan karbondioksida bertekanan tinggi. Selanjutnya tekanan cairan tersebut diturunkan menjadi 1 atm menggunakan alat penyemprot sehingga menghasilkan bentuk padatan menyerupai salju dan kemudian dimampatkan menjadi bentuk es kering. Hingga saat ini produsen terbesar es kering yang merupakan hasil sampingan dari produksi pupuk urea adalah PT. Petrokimia Gresik dengan kapasitas produksi mencapai 24 ton perhari.

Proses penyerapan panas yang terjadi pada es kering menyebabkan es kering menyublim dari bentuk padat menjadi gas, sehingga tidak menyisakan air seperti pada metode pendinginan es atau air dingin yang dapat mengurangi kapasitas muat ikan. Efek refrigerasi dari satu kilogram es kering 70% lebih besar dibandingkan satu kilogram es balok (Ilyas, 1983). Es kering mampu menyerap panas hingga 136,6 kkal/kg sedangkan es balok hanya sekitar 80 kkal/kg. Namun harga es kering yang relatif lebih mahal dari es basah menyebabkan penggunaannya lebih terbatas untuk ikan dengan nilai ekonomis tinggi. Selain itu es kering tidak boleh kontak langsung dengan ikan karena dapat merusak kulit dan daging ikan.

## 2.4. Teknologi Insulasi

Panas mampu berpindah secara konduksi, konveksi dan radiasi. Dalam beberapa keadaan diperlukan suatu pengkondisian terhadap panas, oleh karena itu diperlukan suatu teknologi yang mampu mengatasi hal tersebut. Insulasi adalah teknik atau cara yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas. Insulasi dapat dibedakan menjadi beberapa jenis seperti insulasi termal, insulasi bangunan, insulasi akustik, material, insulasi listrik, dan insulasi pipa. Untuk jenis insulasi yang akan dibahas kali ini adalah jenis insulasi termal.

Dalam penerapannya insulasi dibedakan menjadi beberapa tipe atau teknik penyekatan panas yaitu:

- a. *Resistive insulation*, merupakan tipe insulasi dimana cara penyekatan panas dilakukan dengan mengandalkan nilai resistansi pada proses konduksi
- b. *Reflective insulation*, tipe insulasi dengan cara mereduksi kemampuan material untuk menyerap panas secara radiasi. Panas yang dihantarkan dalam bentuk gelombang inframerah dapat dihambat atau bahkan dapat diserap tergantung pada bentuk dan warna material. Material dengan warna putih mampu merefleksikan panas secara maksimal sedangkan warna hitam berlaku sebaliknya.
- c. *Capasitive insulation*, tipe insulasi ini memiliki karakter berbeda dengan tipe lain. Insulasi ini tidak digunakan pada kondisi *steady-state*. Material yang digunakan mampu menunda aliran panas (time-lag) sehingga seolah-olah seperti menyimpan panas dalam waktu tertentu dan kemudian panas akan dilepaskan.



Aliran panas dapat dikendalikan dengan memanfaatkan sifat-sifat material. Teknologi insulasi menggunakan material yang memiliki konduktivitas termal rendah sehingga mampu menyekat aliran panas atau disebut dengan insulator. Insulasi berperan sangat penting untuk kotak atau wadah penyimpanan ikan, palkah, dan tempat penyimpanan es. Dengan mengurangi infiltrasi panas maka tingkat pelelehan es dapat dikurangi sehingga proses pendinginan dapat berlangsung lebih efisien. Keuntungan yang didapatkan dari aplikasi insulasi diantaranya:

- a. Mengurangi panas masuk dari lingkungan sekitar
- b. Mengoptimalkan kapasitas pemuatan ikan serta biaya operasional pendinginan ikan
- c. Mengurangi beban pendinginan apabila menggunakan sistem refrigerasi mekanis

Pada kapal kecil penggunaan insulasi termasuk hal yang mewah dan mahal dilihat dari besarnya biaya konstruksi serta pemasangannya. Hal tersebut menyebabkan pemilihan bahan insulasi merupakan hal yang sangat penting. Beberapa karakteristik yang perlu diperhatikan dari bahan atau material insulasi:

- a. Densitas dari bahan ( $\text{kg/m}^3$ ) dan berat
- b. Nilai konduktivitas termal ( $\text{kcal/m.jam}^{\circ}\text{C}$  atau  $\text{BTU. in/ft}^2 \text{ jam.K}$ )
- c. Ketahanan terhadap perembesan air atau uap air
- d. Kekuatan terhadap kompresi ( $\text{kg/m}^2$ )
- e. Harga material ( $\text{Rp/m}^3$ ) dan pemasangan
- f. Ketahanan terhadap kebakaran atau api

Insulasi terbaik didapatkan dari material dengan konduktivitas termal yang rendah, tahan air, tahan larutan serta bahan kimia, mudah dipasang, ringan, ekonomis, kuat, tidak menyerap kelembaban, tidak mudah terbakar serta tidak berbahaya atau beracun. Dinding dari palkah kapal juga dilakukan pelapisan insulasi guna mempertahankan temperatur pendinginan hasil tangkapan.

Beragam bahan digunakan sebagai insulator baik yang alami maupun sintetis, seperti: ijuk, goni, sekam padi, sabut kelapa, daun kelapa, merang, gabus, kayu, *plywood*, nipa, bubuk gergaji, *styrophore-foam*, *polyurethane*, *foam glass*, dan *expanded polystyrene*, PVC, FRPs.

Dari segi pertimbangan biaya lebih baik memilih material insulasi dengan konduktivitas yang lebih rendah dibandingkan harus menambah ketebalan insulasi dinding. Dengan memilih bahan berkonduktivitas termal rendah maka insulasi yang diperlukan menjadi lebih sedikit, sehingga meningkatkan kapasitas refrigerasi serta ruang pemuatan ikan. Berikut perbandingan dari bahan-bahan insulasi yang umum digunakan:

**Tabel 2.8 Perbandingan Bahan Insulasi (Ilyas. 1983)**

Sifat Bahan	Lempeng Gabus	Foam Glass	Poly-styrene	Poly-urethane
Densitas (kg/m <sup>2</sup> )	100-150	145	15-30	40
Konduktivitas panas	0,032	0,046	0,030	0,020
Ketebalan (mm)	130	NA	120	90
Ketahanan thd air	Cukup	Sempurna	baik	baik
Ketahanan thd api	Jelek	sangat baik	jelek	jelek
Kekuatan kompresi (kg/m <sup>3</sup> )	5.000	30.000	2.000	3.000
Biaya pasang	agak tinggi	agak tinggi	agak tinggi	tinggi

## 2.5. Coolbox

*Coolbox* adalah sebuah alat berupa kotak penyimpanan yang memiliki kemampuan mempertahankan temperatur rendah atau melindungi dari panas agar tidak masuk menggunakan material insulasi. Umumnya digunakan untuk penyimpanan bahan yang mudah rusak akibat temperatur tinggi; seperti bahan pangan, ikan, daging, sayur, buah.

Berdasarkan *The Use of Ice on Small Fishing Vessels* (Shawyer dan Pizzali. 2003), fungsi utama kotak penyimpanan ikan atau *coolbox* pada kano, perahu dan kapal kecil adalah:

- Mempermudah penanganan ikan (mengurangi frekuensi penanganan ikan secara individu) dan melindungi ikan dari kerusakan fisik
- Menjaga kualitas ikan dengan memastikan pendinginan serta tingkat pelelehan es rendah karena infiltrasi panas yang minim
- Meningkatkan praktik penanganan ikan yang menghasilkan kualitas ikan lebih baik saat didaratkan, durasi melaut lebih panjang serta harga jual yang sesuai bagi nelayan

Terdapat beragam jenis, tipe, serta material yang digunakan untuk *coolbox*. Mulai dari yang berbahan alami seperti alang-alang, rotan, serat, rumput, kayu hingga produk buatan industri seperti bahan plastik dan logam. Untuk mendapatkan kemampuan pendinginan yang optimal, material insulasi juga diaplikasikan pada *coolbox*.

Adapun pemilihan jenis material serta bentuk dari *coolbox* sangat dipengaruhi oleh kebutuhan pendinginan serta aspek ekonomi. Hingga kini masih banyak dijumpai ikan dibuang akibat kerusakan atau pembusukan pada selang antara waktu tangkap dan penjualan didarat. Seiring peningkatan kemampuan dan kapasitas *coolbox* serta penggunaannya secara luas pada perahu atau kapal kecil, diharapkan dapat menurunkan tingkat kerugian terutama pada perikanan skala kecil.

Dalam PMC. COFISH Project, sifat-sifat fisik wadah penyimpan ikan yang perlu diketahui antara lain:

- a. Ukuran atau dimensi; untuk menghitung luas serta permukaan, volume
- b. Ukuran dan tebal isolasi
- c. Bahan penyusun dan konduktivitas termal

Untuk memperoleh *coolbox* dengan kemampuan yang optimal diperlukan bentuk serta material yang baik tentunya, namun berimplikasi dengan harga serta biaya produksi yang tinggi. *Coolbox* produksi pabrikan telah banyak dipasarkan tetapi dengan harga yang cukup mahal. Seringkali nelayan tetap mengandalkan *coolbox* tradisional dari bahan bambu atau kayu untuk menyiasati besarnya biaya investasi. Seiring dengan peningkatan kesadaran mutu produk perikanan penggunaan *coolbox* kayu telah banyak digantikan oleh plastik dan logam. Aspek kepraktisan penggunaan dan proses produksi menjadi pertimbangan utama. Beberapa kelemahan dari material kayu adalah sulit untuk dibersihkan, dan masa pakainya lebih pendek dibanding jenis material lain.



**Gambar 2.2 Coolbox yang Biasa Digunakan Nelayan**

Material aluminium bersifat ringan dan mudah dibersihkan, tetapi mudah sekali untuk rusak akibat benturan serta menimbulkan kebisingan saat digunakan. *Coolbox* plastik dari *thermoplastik high density polyethylene* (HDPE) mudah dibersihkan, kuat, relatif ringan serta bentuknya bervariasi dan mudah disesuaikan dengan desain atau bentuk cetakan.

Dari segi berat *coolbox* plastik dan aluminium jauh lebih ringan dibandingkan dengan *coolbox* kayu. Material kayu bersifat menyerap air sehingga meningkatkan beratnya hampir dua kali lipat akibatnya berpengaruh terhadap proses dan biaya pengangkutan. Kayu juga sangat dipengaruhi oleh alam yang dapat menyebabkan penurunan kondisi atau kelapukan.

Kekuatan dari *coolbox* juga penting untuk diperhatikan. Berbagai kerusakan terjadi pada *coolbox* akibat peletakkannya di ruang muat yang seringkali terpengaruh oleh gaya gravitasi akibat pergerakan kapal. Proses bongkar-muat: seperti penggunaan kren, kait, penumpukan, turut mempengaruhi persyaratan kekuatan *coolbox*. Dari sisi masa pakai, *coolbox* dengan material plastik atau aluminium sekitar 6-10 tahun, sedangkan *coolbox* material kayu hanya sekitar 2 tahun. Beberapa material yang sering digunakan sebagai *coolbox* ditunjukkan pada halaman selanjutnya.

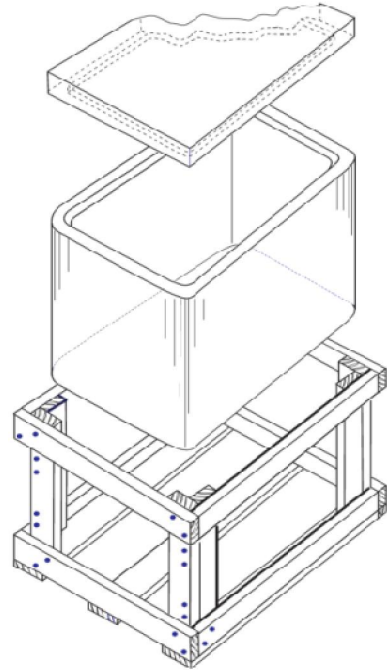
Tabel 2.9 Material Penyusun *Coolbox* (Shawyer dan Pizzali, 2003)

Tipe Material	Densitas	Konduktivitas Termal	Kekuatan Material	
			Tensile Strength	Bending strength
	kg/m <sup>3</sup>	Wm <sup>-1</sup> jam <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	
Kayu (lunak)	350–740	0.11–0.16	5–8	8–12
Kayu (keras)	370–1,100	0.11–0.255	8–14	10–15
Plywood	530	0.14	3.5–9.3	variable
Aluminium alloy	2740	221	20–30	30–40
Mild steel	7800	45.3	24–43	20–28
Fibreglass-reinforced plastic	64–144	0.036	20–50	30–100
High-density polyethylene (HDPE)	960	0.5	5–10	13–15
Eel grass diantara kertas kaku (tdk dikompresi)	73.6	0.036	-	-
Eel grass dalam serat goni (tdk dikompresi)	215	0.049	-	-
Serat rami atau goni (tdk dikompresi)	107	0.036	-	-
Lembar polyethylene, 2 lapis karung goni (rami), kain, lembar polyethylene (tdk dikompresi)	500	0.054	-	-
Lembar polyethylene, 4 lapis karung goni (rami), kain, lembar polyethylene (tdk dikompresi)	580	0.046	-	-
Insulasi serat tebu (tdk dikompresi)	216	0.048		

Desain dari *coolbox* harus dilengkapi dengan drainase untuk mengalirkan air lelehan es keluar. Tujuan dari penirisan ini yaitu menghindari kontaminasi bakteri akibat air yang menggenang, tetapi efek pendinginan menjadi berkurang akibat air dingin yang keluar.

Penyimpanan dalam kotak atau *coolbox* sebenarnya hampir sama dengan metode *bulking*, bahkan jumlah es yang dibutuhkan juga hampir sama. Kapasitas pemuatan *coolbox* secara umum sekitar  $0,37\text{t/m}^3$  tergantung dari ukuran dan desain dari *coolbox*. Keuntungan dari penggunaan *coolbox* yaitu: lebih mempermudah penanganan, pengangkutan dan bongkar-muat; serta mengurangi potensi kerusakan ikan.

Bahan *expanded polystyrene* juga telah banyak diaplikasikan sebagai *coolbox*. Di Filipina, kotak *expanded polystyrene* atau Styrofoam berkapasitas 30-40 kg digunakan sebagai *coolbox* pada kano dan kapal pancing kecil sebagai sarana distribusi dan pemasaran. Sisi luar kotak Styrofoam dilindungi oleh rangka kayu atau besi galvanis agar kuat serta untuk mempermudah penanganan (Shawyer dan Pizzali. 2003).



**Gambar 2.3 Coolbox EPS dengan Rangka Kayu (Shawyer dan Pizzali. 2003)**

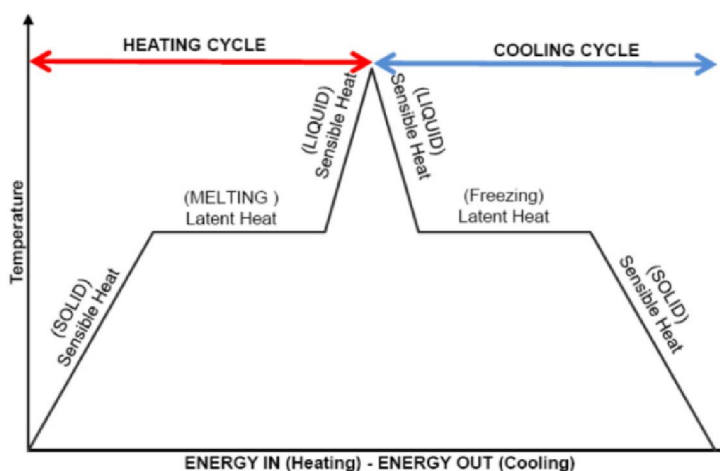
Berdasarkan penelitian oleh Yusuf et al. (2013), membandingkan performa *coolbox* dengan material isolasi yang berbeda. Didapatkan hasil Pada pengujian kondisi kosong *coolbox* dengan jenis isolasi kayu dilapisi styrofoam memiliki penurunan temperatur dinding dalam ruang serta temperatur pendinginan yang lebih rendah daripada 4 jenis *coolbox* dengan material isolasi kayu, fiber dan styrofoam. Desain *coolbox* tersebut dipilih karena lebih unggul dari sisi ekonomi, serta kemampuan dan kapasitasnya cukup mumpuni apabila dibandingkan dengan *coolbox* buatan pabrik.

Jenis, ketebalan serta susunan lapisan sangat berpengaruh terhadap efektivitas insulasi yaitu nilai koefisien perpindahan panas total lapisan tersebut. Nilai konduktifitas termal merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan hantar panas suatu material dan bernilai berbeda tiap material. Jika nilai konduktifitas termal suatu material tinggi, berarti kemampuan mengalirkan panas semakin cepat, sebaliknya jika nilai konduktivitas termal rendah maka kemampuan mengalirkan panas semakin lambat.

## 2.6. Phase Change Material (PCM)

Dalam proses pendinginan umumnya digunakan suatu media perantara pemindah panas yang sering disebut refrigeran. Media atau bahan tersebut dapat digunakan apabila memenuhi unsur tertentu seperti: titik didih dan kondensasi rendah, tidak korosif, tidak beracun dan berbahaya, tidak mempengaruhi produk yang disimpan (aroma, warna, bentuk).

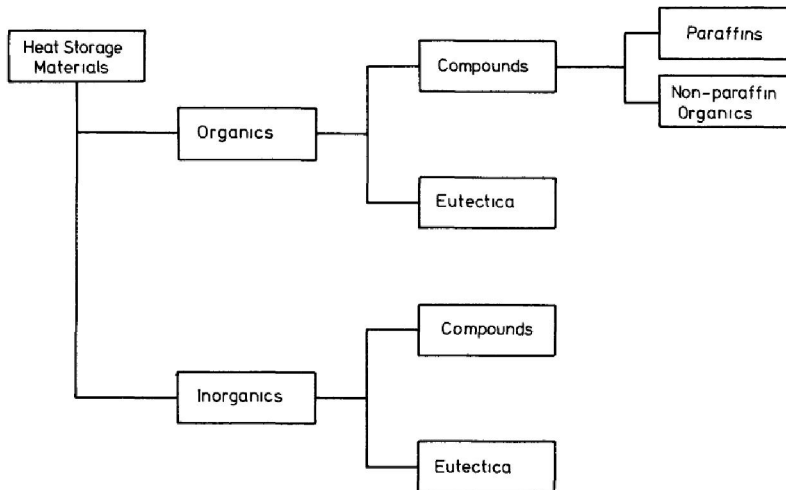
Material penyimpan energi panas pasif dari sifatnya dapat dibedakan menjadi dua yaitu spesifik dan laten. Definisi mendasar untuk menjelaskan konsep tersebut adalah adanya sejumlah energi panas yang diserap atau dikeluarkan material yang mampu mengubah dan mempengaruhi temperatur.



**Gambar 2.4 Kurva Teoritis Panas Laten Untuk Transisi Fase Cair Padat**

Salah satu contoh sederhana PCM yaitu air sebagai material penyimpan energi panas. Apabila temperatur lingkungan atau suatu benda lebih tinggi daripada air maka lingkungan atau benda tersebut akan didinginkan akibat panas mengalir ke air yang bertemperatur lebih rendah. Panas spesifik air adalah 4,18 joule per gram per derajat celsius ( $J/(g \cdot ^\circ C)$ ), sehingga jika kita ingin memanaskan air sebanyak 1 gram (sekitar 1 ml) naik 1 derajat celcius maka kita harus menambahkan 4,18 joule energi pada air dan sebaliknya. Berbeda apabila ketika kita hendak mendinginkan air dari  $1^\circ C$  ke  $0^\circ C$  yang normalnya harus menghilangkan 4,18 joule energi menjadi 333 J/g. Hal ini terjadi karena air perubahan fase cair ke padat.

Sejumlah energi yang dibutuhkan untuk merubah fase zat disebut panas laten. Material PCM menyerap atau melepaskan panas laten ketika memadat atau berubah fase, sedangkan ketika meleleh PCM menjadi media penyimpanan panas sensibel. Grafik dibawah menunjukkan kelompok jenis dari PCM, sebagai berikut:



**Gambar 2.5 Grafik Pengelompokan Jenis Dari PCM**

Dari beragam jenis tersebut masing-masing PCM memiliki karakteristik yang berbeda pula. Dari bahan penyusunnya PCM dapat dibedakan lagi menjadi: PCM basis air, basis parafin, basis garam hidrat, basis minyak sayur dan es kering. Karakteristik tersebut bermanfaat untuk memilih PCM yang sesuai dengan kapasitas pendinginan yang dibutuhkan. Berikut keunggulan dan kelemahan masing-masing PCM berdasarkan basisnya:

**Tabel 2.10 Keunggulan dan Kelemahan PCM Berdasarkan Basis (Mesalabs. 2010)**

	Keunggulan	Kelemahan	Penggunaan
Basis Air (es)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biaya murah</li> <li>• Tidak beracun</li> <li>• Dapat dipakai ulang</li> <li>• Tidak mudah terbakar</li> <li>• Mudah digunakan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cepat mencair</li> <li>• Temperatur cenderung tidak konsisten</li> <li>• Waktu pengondisian butuh lebih lama</li> </ul>	Pendinginan produk umum dalam temperatur disekitar 0°C
Es Kering (CO <sub>2</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cukup terjangkau</li> <li>• Siap digunakan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hanya sekali pakai</li> <li>• Perlu pengemasan yang teliti</li> <li>• Produsen relatif masih terbatas</li> </ul>	Penggunaan muatan dengan pendinginan <i>Deep frozen</i> serta untuk muatan jarak dekat

Basis Minyak Sayur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Harga stabil</li> <li>• Rentang temperatur cukup lebar</li> <li>• Handal untuk durasi pendinginan yang lebih panjang</li> <li>• Stabil secara kimiawi dalam jangka panjang</li> <li>• <i>Biodegradable</i> &amp; tidak beracun</li> <li>• Tidak mengalami degradasi termal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baru untuk di pasaran umum</li> </ul>	Cakupan penggunaan lebih luas: $-90^{\circ}\text{C}$ sampai $150^{\circ}\text{C}$ dengan panas laten antara 150 and 220 J/g
Basis Parafin	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kapasitas penyimpanan panas baik</li> <li>• Dapat membeku tanpa pendinginan supercooling</li> <li>• Stabil secara kimiawi untuk penggunaan berulang</li> <li>• Panas lebur tinggi</li> <li>• Tidak korosif</li> <li>• Tidak bereaksi dengan material lain</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Panas laten tinggi</li> <li>• Harga berfluktuasi seiring harga minyak mentah</li> <li>• Titik lebur tidak tajam</li> <li>• Kebanyakan beracun dan sulit untuk didaur</li> <li>• Meningkatkan emisi karbon dunia</li> </ul>	Digunakan pada <i>Closed loop shipping cycles</i> dimana produk kembali (Materi biologi-medis)
Basis Garam Hidrat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Harganya murah setelah PCM jenis air dan gel pack</li> <li>• Nilai panas laten tinggi</li> <li>• Tidak mudah terbakar</li> <li>• Langsung siap digunakan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rentang temperatur sedikit</li> <li>• Pencairan tidak merata</li> <li>• Garam dapat mengendap</li> <li>• Kemampuan <i>nucleating</i> bahan rendah</li> <li>• Terjadi perubahan volume sehingga perlu wadah khusus</li> <li>• Beracun</li> </ul>	Penggunaan pada anggur <i>wine</i> mahal, produk makanan, biologi material, bahan medik, aplikasi farmasi



## 2.7. Ice gel Propylene Glycol

*Ice gel* adalah media gel yang mampu menurunkan temperatur dan digunakan untuk penyimpanan dalam temperatur rendah. Termasuk dalam kategori material penyimpan energi panas pasif jenis *phase change material* (PCM). *Ice gel* dapat difungsikan sebagai pengganti es basah. Bahan penyusun *ice gel* umumnya berupa campuran *propylene glycol* dan air yang membentuk gel.



**Gambar 2.6 Ice gel Kemasan Plastik**

Gel pendingin dikemas dalam kemasan khusus yang didesain untuk bertahan menghadapi kondisi pembekuan. Gel ini mampu didinginkan hingga mencapai  $-30^{\circ}\text{C}$  sebelum digunakan. Membuat sendiri *cooling gel* tidak praktis serta kurang menguntungkan dibandingkan menggunakan *cooling gel* yang dijual dipasaran. Apabila *gel* yang digunakan dalam jumlah yang sedikit cenderung kurang mampu menurunkan temperatur dalam *coolbox* tetapi mampu menjaga temperatur serta melindungi dari panas dari luar (Harris. 1982 dalam Hall. 1997).

Kelebihan dari penggunaan *ice gel* adalah dapat dipakai berulang kali dan dapat menjaga temperatur dingin hingga 12 jam dalam wadah seperti box styrofoam. Selain itu tidak terjadi proses kondensasi ketika temperatur naik sehingga menjamin kondisi tetap kering. Selain itu, bahan *propylene glycol* dalam *ice gel* bersifat *biodegradable* yang mudah terurai sehingga ramah lingkungan, dan tidak bersifat toksik atau beracun, sehingga sesuai digunakan untuk penyimpanan dingin bahan pangan seperti hasil holtikultura, hasil perikanan, daging ataupun penyimpanan obat. Tabel berikut menunjukkan karakteristik *Ice gel* berat 1 kg:

**Tabel 2.11 Karakteristik Ice gel Berat 1 Kg (Nurkusumaprama,2014)**

Karakteristik	Nilai
Berat dalam bentuk padat (gr)	1095.5
Berat dalam bentuk padat (gr)	1094,7
Temperatur beku ( $^{\circ}\text{C}$ )	-7
Temperatur leleh ( $^{\circ}\text{C}$ )	0
Umur pakai	> 1 tahun
Panas spesifik ( $\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$ )	3583.9

*Ice gel* membeku pada titik temperatur dingin dan mampu mencair pada temperatur yang rendah. Berdasarkan materialnya terdapat dua jenis *ice gel*, yaitu *ice gel* berwarna bening berfungsi hanya sebagai elemen pendingin dan *ice gel* berwarna biru yang memiliki dua fungsi yaitu elemen pendingin dan elemen pemanas (Jaya dalam Nurkusumaprama 2014).

Berdasarkan The Dow Chemical Company (2003), komposisi utama penyusun dari *ice pack* adalah air 55-75% dan *propylene glycol* 20-40%. *Material Safety Data Sheet* dari *Soft Gel Cold Pack MediChill* menyebutkan komposisi bahan penyusun antara lain:

<i>Propylene glycol</i>	23%
Air	74%
<i>Sodium carboxymethyl cellulose</i>	3%

Sedangkan menurut wikihow.com, persentase komposisi penyusun *popular reusable ice gel* dari berat total adalah:

Air	60 - 70%
<i>Propylene glycol</i>	20 - 35%
<i>Nylon film</i>	< 5%
<i>Sodium carboxymethyl cellulose</i>	< 5%
<i>Polypropylene cover</i>	< 3%

*Propylene glycol* termasuk dalam zat antibeku yang banyak digunakan dalam pendinginan *IC engine*, zat anti-es pada pesawat terbang, instalasi refrigerasi dll. Pengukuran konsentrasi zat antibeku dilakukan menggunakan alat densitometri atau refraktometri. *Propylene glycol* atau singkatnya PG (1,2-propanediol,  $\text{OHCH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{OH}$ ) memiliki sifat fisik transparan, tidak berasa, tidak berbau, dan tidak beracun sehingga lebih banyak digunakan pada proses pengolahan bahan pangan dibandingkan *ethylene glycol*. Diproduksi dalam jumlah besar dari propilena oksida hasil pengolahan propilena. Cairan PG memiliki titik didih tinggi dan titik beku yang rendah, dapat disimpan tanpa insulasi, pemanasan dan tidak terpengaruh oleh cuaca (Martinez. 2017). Rangkuman sifat fisik PG dengan konsentrasi 100% yang didapatkan dari pengujian laboratorium sebagai berikut:

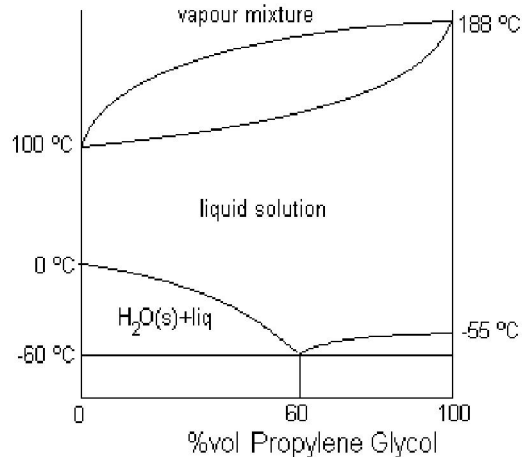
**Tabel 2.12 Rangkuman Sifat Fisik PG dengan Konsentrasi 100% (The Dow Chemical Company. 2003)**

Sifat Fisik	Unit	PG
Nama kimia		1,2-propanediol
Persamaan kimia		$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$
Titik didih	760 mm Hg, °F	369.3
	760 mm Hg, °C	187.4
Densitas	$\text{g/cm}^3$ , 77°F(25°C)	1.032
	$\text{lb/gal}$ , 77°F (25°C)	8.62
Panas spesifik	J/g/K, 25°C	2.51
Titik nyala	°F (°C)	220.2 (104)
Konduktivitas Termal	W/m*K, 25°C	0.206

Sifat dari campuran propylene glycol dengan air sangat tergantung dari jumlah konsentrasi atau prosentase dari berat total campuran yang digunakan. Titik beku misalnya prosentase PG menentukan titik beku yang dapat dicapai campuran.

Grafik pada berikut merupakan diagram fase campuran propylene glycol dan air pada 100 kpa. Pada sumbu x horisontal menunjukkan % glikol yang artinya prosentase kandungan PG semakin meningkat ke arah kanan, sedangkan 0% pada sisi paling kiri atau 100% air. Pada sumbu y menunjukkan temperatur pembekuan yang dapat dicapai oleh campuran.

**Gambar 2.3 Diagram Fase Campuran Propylene Glycol dan Air pada 100 kPa**



Garis kurva yang paling atas menunjukkan titik-titik beku campuran dengan beragam konsentrasi dan bagian atasnya merupakan campuran berfase cair. Dibawah kurva beku campuran tersebut merupakan fase padat namun masih terdapat sedikit fase cair.

Pada ujung kurva beku dimana terjadi perpotongan sumbu y:  $-60^{\circ}\text{C}$  dengan sumbu x: 60% merupakan titik yang disebut *eutetic point*. Titik ini mengindikasikan nilai temperatur lebur atau beku terendah yang mampu dicapai suatu campuran kimiawi pada diagram fase. Selain itu pada titik eutetik juga terjadi keseimbangan fase antara fase cair dan padat. Garis horizontal pada sumbu y  $-60^{\circ}\text{C}$ , merupakan batas dimana fase campuran dibawah garis ini telah sepenuhnya dalam fase padat. Tabel dibawah ini merangkum sifat-sifat PG dalam berbagai konsentrasi campuran:

**Tabel 2.13 Sifat-Sifat PG Dalam Berbagai Konsentrasi Campuran (engineeringtoolbox.com)**

Campuran PG (%)	Titik Beku	Specific Gravity; sg	Titik Didih [°C]	Panas spesifik; $c_p$
Massa	[°C]	[60°F]		[kcal/kg°C]
0	0	1,000	212	1,000
10	-3	1,008	212	0,980
20	-8	1,017	213	0,960
30	-14	1,026	216	0,930
40	-22	1,034	219	0,895
50	-34	1,041	222	0,85
60	-48	1,046	225	0,805

Kandungan dari *ice gel* tentu tidak hanya *propylene glycol* tetapi terdapat beberapa zat kimiawi lain yang turut membentuk kemampuan pendinginannya. Oleh karena itu, berikut spesifikasi untuk produk *ice gel* yang ada dipasaran sebagai pembandingan terhadap sifat dari *propylene glycol* di pembahasan sebelumnya.

**Tabel 2.14 Spesifikasi Produk *Ice gel* dari InoacThai (INOAC Thai, 2017)**

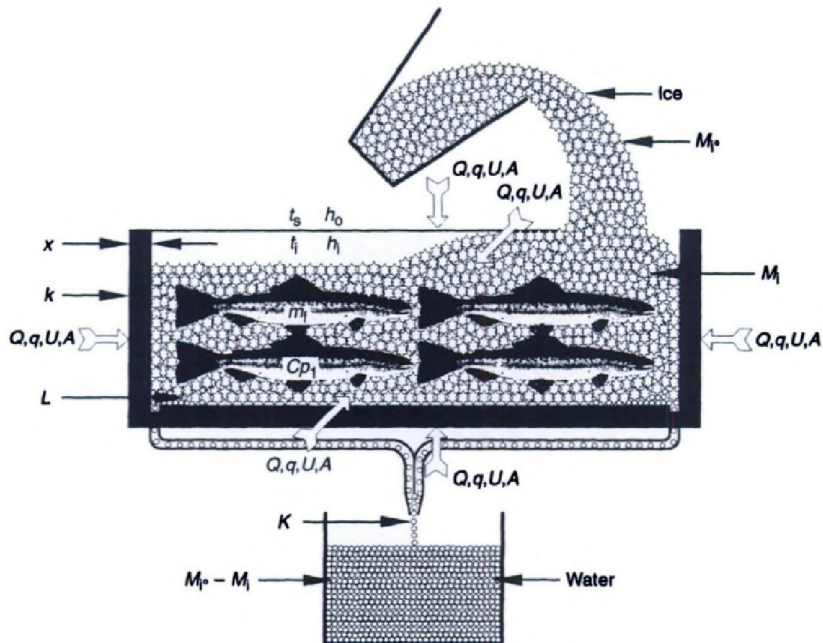
Criteria	Specification					
Temperature bands of Cold Gel Packs	0°C	-5°C	-11°C	-15°C	-21°C	-25°C
Classification by the color of gel and cap	Blue	Blue with Black cap	Green	Yellow with Yellow Cap	Red	Yellow
Freezing temperature required by Freezer	-10°C	-15°C	-21°C	-25°C	-31°C	-35°C
	Below	Below	Below	Below	Below	Below
Latent heat of fusion (kJ/kg)	314	314	272	293	230	230
Melting Point (°C)	0	-3	-11	-15	-21	-24
Specific gravity	1.00	1.05	1.14	1.05	1.15	1.11
Specific heat	0.95	0.92	0.81	0.90	0.79	0.84
Expansion rate after precooling (%)	10.0	10.9	10.8	8.7	7.5	5.0
pH	7	6	6	6	6	6

## 2.8. Aplikasi Perpindahan Panas Pada Proses Pendinginan Ikan

Aplikasi perpindahan panas pada proses pendinginan ikan sangat penting untuk diketahui dalam kaitan penentuan rasio terbaik ikan dan media pendingin terutama es pada beragam temperatur lingkungan. Perhitungan ini berguna untuk mereduksi jumlah media pendingin yang diperlukan untuk pendinginan ikan secara optimal.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi jumlah kebutuhan media pendingin, dan faktor yang paling berpengaruh adalah kebocoran panas pada *coolbox*. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, panas mengalir dari lingkungan ke dalam *coolbox* yang bertemperatur lebih rendah melalui setidaknya tiga cara: konduksi, konveksi, radiasi. Konduksi merupakan proses yang paling berpengaruh diantara ketiganya.

Sumber panas yang berasal dari dalam dan luar dari sistem pendingin yang harus dikeluarkan atau diserap untuk memenuhi kapasitas pendinginan disebut dengan beban pendingin. Beban tersebut dapat dibedakan berdasarkan darimana beban tersebut berasal yaitu: beban produk, beban infiltrasi, beban transmisi. Beban yang disebabkan oleh proses konduksi paling mempengaruhi media pendingin, dengan melalui dua cara: pertama, panas yang dikonduksikan dari tubuh ikan; kedua, panas konduksi dari lingkungan melalui dinding *coolbox*.



**Gambar 2.8 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pencairan Es Dalam Coolbox (Hall. 1997)**

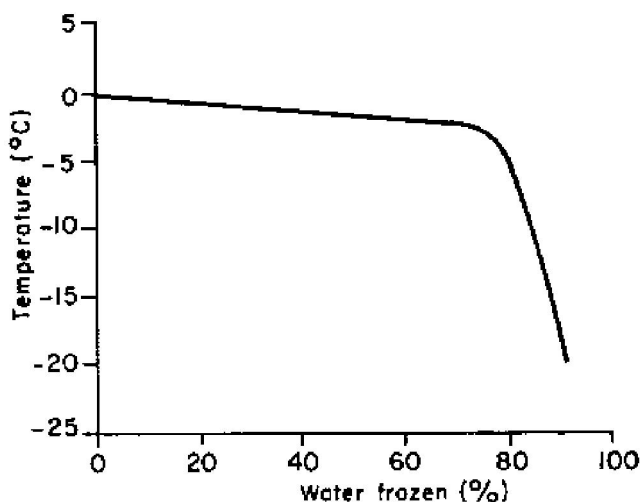
Jumlah panas konduksi melalui dinding *coolbox* dipengaruhi oleh empat faktor yaitu luas permukaan *coolbox*, ketebalan, perbedaan temperatur lingkungan dan temperatur dalam *coolbox*, dan jenis material penyusun. Upaya untuk mereduksi jumlah media pendingin, esensi sesungguhnya adalah upaya mengurangi laju panas yang masuk dari lingkungan. Laju panas masuk akan lebih besar jika luas permukaan lebih luas, sebaliknya laju aliran panas masuk akan turun setengahnya jika ketebalan material ditambah dua kalinya. Namun laju panas tersebut menjadi minim apabila temperatur lingkungan mendekati  $0^{\circ}\text{C}$ , sehingga sumber panas hanya berasal dari ikan saja.

Proses pendinginan yang terjadi pada kotak pendingin atau *coolbox* terdapat dua tahap yaitu: proses pendinginan tubuh ikan hingga mendekati temperatur  $0^{\circ}\text{C}$ , selanjutnya menjaga temperatur dengan menyerap panas yang masuk dari lingkungan. Jumlah media pendingin khususnya es yang diperlukan untuk mendinginkan ikan dalam jumlah tertentu tidak dapat dikurangi. Namun *coolbox* dengan material insulasi dapat mengurangi kebutuhan media pendinginan dengan membatasi panas masuk yang ‘mengonsumsi dingin’ dari media pendingin. Di daerah tropis dan sub-tropis dimana temperatur rata-rata sekitar  $30\text{-}40^{\circ}\text{C}$ , cukup sulit untuk mengestimasi kebutuhan media pendingin (es) secara akurat. Penggunaan es dalam kuantitas besar menjadi tidak ekonomis dan tidak praktis.

### 2.8.1 Panas Spesifik Ikan

Panas spesifik adalah sejumlah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur 1 kg produk sebesar 1°C. Besar nilai panas laten dan spesifik ikan sangat dipengaruhi oleh kandungan ikan. Secara umum untuk ikan berlemak rendah (lean fish) dengan kandungan air 80% memiliki panas spesifik 0.9 kkal/kg°C pada temperatur -1°C dimana ikan mulai membeku (Myers. 1981).

Kandungan air juga sangat berpengaruh terhadap besar beban pendinginan. Ikan dengan kandungan air 60% akan lebih cepat didinginkan daripada ikan dengan kandungan air 80%.



**Gambar 2.9 Pengaruh Fraksi Air Terhadap Pendinginan Ikan (Graham et al. 1992)**

Sifat-sifat termofisik ikan seperti panas spesifik penting untuk diketahui sebagai acuan perhitungan perpindahan panas. Pendinginan dan pembekuan ikan tidak akan terjadi sebelum panas tubuh ikan dipindahkan atau dihilangkan. Estimasi panas spesifik ikan dapat dihitung dengan formula Siebel (1982) dalam Hall (1997):

$$C_{P1} = 0,837 + 3,349 X_W \quad (1)$$

$$C_{P2} = 0,837 + 1,256 X_W \quad (2)$$

dimana:

$C_{P1}$  = panas spesifik ikan diatas titik beku, kJ/kg °C

$C_{P2}$  = panas spesifik ikan dibawah titik beku, kJ/kg °C

$X_W$  = fraksi massa air, %

### 2.8.2 Beban Produk

Merupakan panas spesifik yang harus dibuang untuk menurunkan temperatur ikan awal ke temperatur penyimpanan. Panas tersebut dilepaskan oleh ikan untuk menyeimbangkan temperatur ikan. Beban produk dapat dihitung dengan persamaan (ASHRAE Handbook. 1990):

$$Q_f = m_f c_p (t_2 - t_i) \quad (3)$$

dimana:

- $Q_f$  = panas spesifik ikan yang dipindahkan, kJ; k.kal
- $m_f$  = massa ikan, kg
- $C_p$  = panas spesifik ikan di atas pembekuan, kJ/(kg. K); k.kal/kg °C
- $t_2$  = temperatur awal ikan, °C
- $t_i$  = temperatur penyimpanan ikan, 0°C

### 2.8.3 Beban Transmisi

Beban ini timbul karena adanya perbedaan temperatur antara bagian dalam ruang atau sistem pendingin dengan udara luar. Dinyatakan dalam laju transmisi panas yang mengalir melalui dinding. Kuantitas panas yang dihantarkan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti: letak, jenis material, dan kondisi udara sekitar. Beban tersebut dapat dihitung dengan persamaan (ASHRAE Handbook. 1990):

$$Q_{trans} = U A \Delta T \quad (4)$$

dimana:

- $Q_{trans}$  = laju transmisi panas melalui dinding coolbox kW; k.kal/jam
- $A$  = luas bidang perpindahan panas, m<sup>2</sup>
- $\Delta T$  = beda antara temperatur udara luar dan temperatur di dalam °C
- $U$  = koefisien perpindahan panas menyeluruh dari dinding komposit

Nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat dihitung dengan persamaan: (Holman. 1994)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{k_i} + \frac{1}{h_1}} \quad (5)$$

di mana:

- $U$  = koefisien perpindahan panas menyeluruh, W/m<sup>2</sup>.K
- $h_o$  = koefisien perpindahan panas dinding luar, W/m<sup>2</sup>.K; kkal/m<sup>2</sup> jam °C
- $x_i$  = tebal lapisan ke i, m
- $k_i$  = konduktivitas lapisan ke i, W/(m.K); kal/m jam °C
- $h_i$  = koefisien perpindahan panas dinding dalam, W/(m<sup>2</sup>.K); kal/m<sup>2</sup> jam °C

Selain menggunakan persamaan tersebut, koefisien perpindahan panas menyeluruh juga dapat diestimasi menggunakan persamaan dari Boeri et al. (1985) dalam Hall (1997):

$$U = \frac{L(M_{i^o} - M_i)}{A(t_s - t_i)t} \quad (6)$$

dimana:

- U = koefisien perpindahan panas menyeluruh, W/m<sup>2</sup>.K
- L = panas laten media pendingin; kJ/kg
- A = luas area permukaan, m<sup>2</sup>
- M<sub>i<sup>o</sup></sub> = massa awal pendingin, kg
- M<sub>i</sub> = massa sisa pendingin, kg
- t = waktu pendinginan, jam

#### 2.8.4 Pengukuran Luas Permukaan *Coolbox*

Laju pelelehan media pendingin khususnya es, sangat dipengaruhi oleh luas permukaan dari *coolbox*. Semakin luas permukaan dari *coolbox* maka semakin besar laju peleburan es. Semua luasan sisi dari *coolbox* harus diperhitungkan baik sisi luar maupun sisi dalam, menggunakan persamaan dari Hall (1994):

$$A = \frac{A_i + A_o}{2} \quad (7)$$

dimana:

- A<sub>i</sub> = luas area permukaan dalam, m<sup>2</sup>
- A<sub>o</sub> = luas area permukaan luar, m<sup>2</sup>

#### 2.8.5 Beban Infiltrasi

Udara luar yang masuk ke dalam ruang atau sistem pendingin ketika tutup *coolbox* dibuka ikut mempengaruhi temperatur dan kelembaban udara. Panas dan kelembaban yang masuk juga menjadi beban bagi sistem pendingin untuk menjaga temperatur tetap pada temperatur penyimpanan. Beban ini cukup sulit untuk diperhitungkan secara tepat, sehingga digunakan asumsi secara umum sebesar 15% dari beban total penerimaan panas permukaan (Ilyas.1983).

#### 2.8.6 Kebutuhan Media Pendingin (Es)

Pendinginan ikan selalu identik dengan penggunaan es basah. Es umum dipakai karena proses perpindahan panas dari ikan yang cepat. Selain itu penggunaannya yang simpel, mudah didapat, mudah diproduksi, dan relatif ekonomis. Oleh karena itu perlu diketahui total es yang dibutuhkan untuk mempertahankan temperatur 0°C. Es basah dapat menyerap 80 kkal hingga mencapai konstan 0°C, maka jumlah es yang dibutuhkan mengatasi beban pendinginan dapat dihitung dengan persamaan dari FAO (1992) dalam Hall (1997):

$$m_i = \frac{c_{p1} t_1}{L} m_f \quad (8)$$

dimana:

- m<sub>i</sub> = massa es, kg
- m<sub>f</sub> = massa ikan, kg



- $C_p$  = panas spesifik ikan di atas pembekuan, kJ/(kg. K); k.kal/kg °C  
 $t_i$  = temperatur awal ikan, °C  
 $L$  = panas laten media pendingin; kJ/kg

Perhitungan kemampuan media pendingin dalam menyerap panas terdiri atas panas sensibel dan panas laten. Panas sensibel dan laten dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_{Sensibel} = \frac{m C_{p1} (t_2 - t_i)}{t} \quad (9)$$

dimana:

- $Q_s$  = panas sensibel, W  
 $m$  = massa pendingin, kg  
 $C_p$  = panas spesifik ikan di atas pembekuan, kJ/(kg. K); k.kal/kg °C  
 $t$  = waktu pendinginan, s

$$Q_{laten} = \frac{m L}{t} \quad (10)$$

dimana:

- $Q_l$  = panas laten, W  
 $m$  = massa pendingin, kg  
 $t$  = waktu pendinginan, s  
 $L$  = panas laten media pendingin; kJ/kg

Dengan demikian, kemampuan media pendingin dalam menyerap atau memin-dahkan panas dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$Q_r = Q_{laten} + Q_{sensibel} \quad (11)$$

Kebutuhan media pendingin dalam hal ini es basah maupun *ice gel* berdasarkan persamaan-persamaan diatas dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Jumlah\ Kebutuhan = \frac{Q_{Total}}{Q_r} \quad (12)$$

## BAB III METODOLOGI

Penulisan Tugas Akhir ini menggunakan metode studi literatur, studi empiris, dan pengolahan data. Berbagai data yang dikumpulkan berasal dari studi pustaka yang dilakukan, serta data informasi yang menunjang penulisan laporan Tugas Akhir ini. Untuk eksperimen dalam Tugas Akhir ini terdapat beberapa asumsi variabel yang digunakan yaitu:

### 3.1 Variabel Eksperimen

**Tabel 3.1 Jenis- Jenis Variabel dalam Eksperimen**

No.	Jenis Variabel	Keterangan
1	Kontrol	Ukuran kotak sterofoam 52 x 37 x 34 (cm)
2	Manipulasi	Perbandingan <i>ice gel</i> dan es basah
3	Respon	Perubahan temperatur dan waktu pendinginan dengan perbandingan <i>ice gel</i> dan es basah yang dilakukan

Alasan untuk pemilihan material kotak dan ukurannya yaitu:

- Penggunaannya yang praktis dan tidak memakan tempat
- Kotak dari bahan sterofoam mampu menghambat panas dengan baik atau memiliki konduktifitas termal rendah.
- Kotak sterofoam memiliki keunggulan yaitu harganya relatif terjangkau, mudah didapat, tahan lama serta cukup ringan.

Sedangkan dasar penggunaan *ice gel propylene glycol* sebagai media pendingin yaitu:

- Mampu mencapai temperatur lebih rendah serta pendinginan yang lebih baik dibanding menggunakan es basah dengan massa yang sama (lebih ringan daripada es basah)
- *Ice gel* bersifat ringan dan tetap kering karena tidak mencair, biodegradable, tidak beracun, bisa dipakai berulang kali serta masa pakainya cukup panjang yaitu hampir setahun.

Adapun variasi yang akan diterapkan pada eksperimen yaitu:

**Tabel 3.2 Jenis- Jenis Variasi Eksperimen**

No	Berat Ikan		Berat Es		Berat <i>Ice gel</i>
1	4 Kg	:	4 Kg	:	0 Kg
2			3 Kg		1 Kg
3			2 Kg		2 Kg
4			1 Kg		3 Kg
5			0 Kg		4 Kg

Pada eksperimen dilakukan pengamatan rentang temperatur optimal pendinginan. Respon berupa perubahan temperatur dan waktu pendinginan es basah dan *ice gel propylene glycol* akan diperoleh melalui eksperimen yang dilakukan. Sehingga dapat diketahui tren pendinginan yang mampu dicapai setiap variasi.

3.2 Kegiatan Eksperimen

3.2.1. Alat dan Bahan

Berikut ini adalah alat dan bahan yang diperlukan dalam eksperimen :

- a. Kotak sterofom

b. Palu

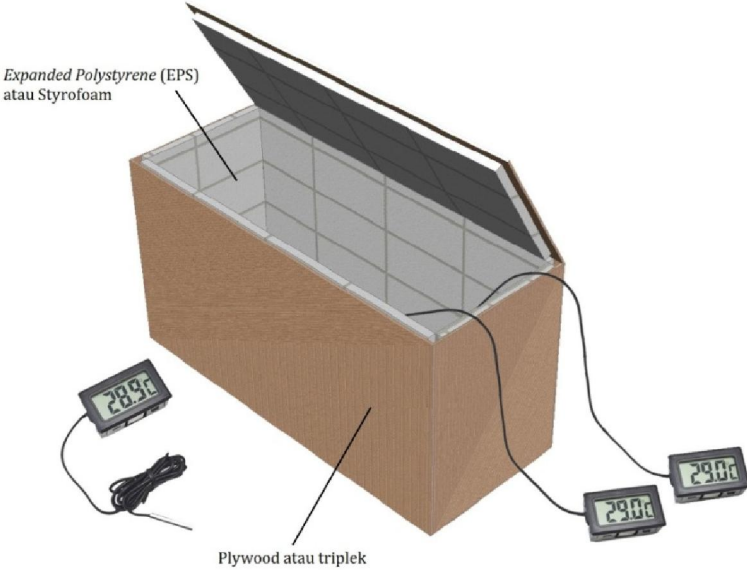
c. Timbangan
- d. Termometer Digital

e. Selotip
- f. Ikan / dami

g. Es basah

h. *Ice gel*

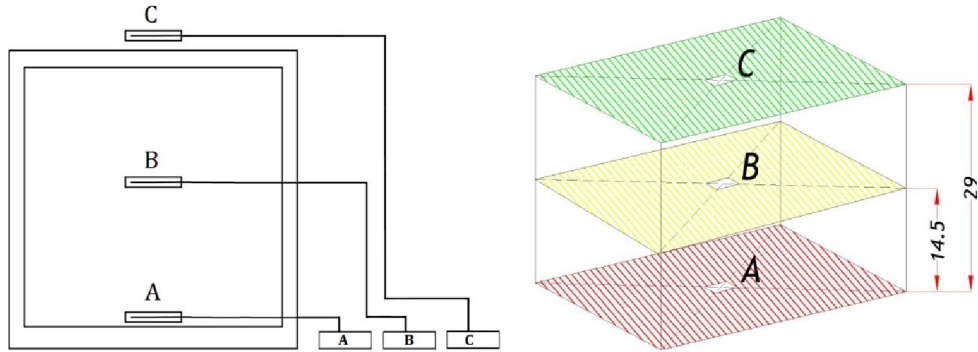
Gambar dibawah adalah model *coolbox* yang akan dibuat, sebagai berikut:



Gambar 3.1 *Coolbox* Eksperimen

Pengukuran temperatur dilakukan pada tiga koordinat: koordinat A, koordinat B dan koordinat C. Untuk koordinat A, probe eksternal diletakkan di bagian dasar *coolbox*. Koordinat B, sensor probe diletakkan dibagian tengah diagonal *coolbox*. Terakhir koordinat C diletakkan diluar *coolbox* untuk mengukur temperatur lingkungan (ambient temperature). Temperatur dicatat dalam selang waktu 10 menit sekali. Gambar dan tabel berikut menunjukkan susunan dan koordinat penempatan sensor probe:

Titik	Sumbu [cm]		
	x	y	z
A	23,5	0	16
B	23,5	14,5	16
C	23,5	34	16



**Gambar 3.2 Skema Penempatan Probe Sensor Termometer Digital**

### 3.2.2. Kalibrasi Termometer Digital

Pengukuran temperatur pada eksperimen ini menggunakan termometer digital dengan rentang temperatur ukur:  $-40^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $50^{\circ}\text{C}$ , memiliki ketelitian pengukuran  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Kalibrasi dilakukan untuk mengetahui ketepatan termometer digital dalam mengukur temperatur. Acuan yang digunakan adalah hasil pengukuran manual dengan termometer raksa.

Pada dasarnya setiap alat ukur analog maupun digital harus dilakukan tera ulang atau pencocokan terhadap standar pengukuran yang telah ditetapkan. Ini bertujuan agar hasil pengukuran tidak terdistorsi akibat kesalahan-kesalahan yang terjadi. Dalam kalibrasi ini menggunakan alat standar, namun diharapkan hasil dari pengukuran dengan termometer digital tidaklah jauh berbeda dari hasil pengukuran menggunakan termometer analog.

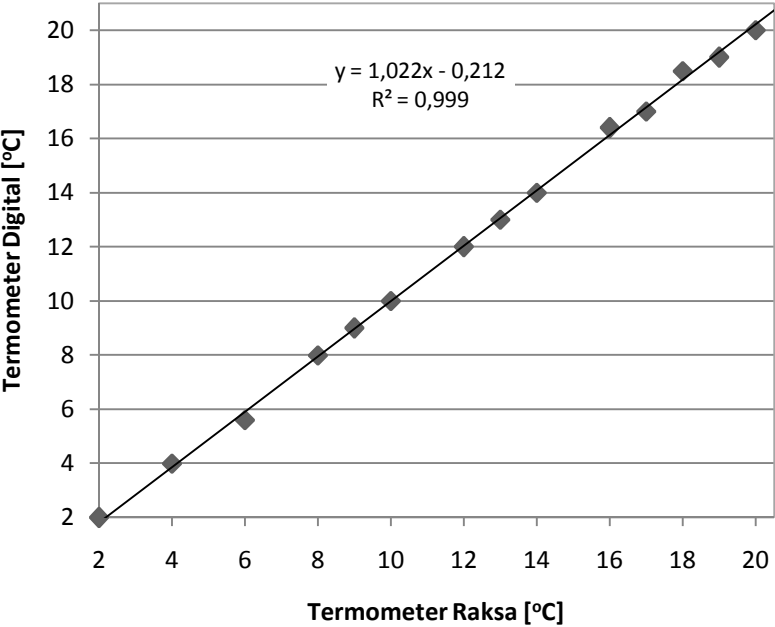
Pertama, dilakukan pengukuran menggunakan termometer digital dan termometer raksa secara bersamaan pada temperatur yang sama. Kemudian dilakukan penghitungan nilai error atau deviasi yang terjadi pada hasil pengukuran termometer digital terhadap hasil pengukuran termometer raksa. Standar deviasi dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(\bar{D}_1 - \bar{D})^2}{n}} \quad (13)$$

Dari perhitungan yang dilakukan, didapatkan bahwa rata-rata error sebesar 0,94%, rata-rata koreksi nilai pengukuran sebesar  $0,120^{\circ}\text{C}$ , serta standar deviasi koreksi adalah:  $\sigma = \pm 0,20^{\circ}\text{C}$ . *European standard* EN 12470-3: 2000+A1:2009: toleransi maksimal pengukuran termometer non-raksa diluar rentang  $35.5^{\circ}\text{C}$ – $42.0^{\circ}\text{C}$  dan temperatur lingkungan  $18^{\circ}\text{C}$ – $28^{\circ}\text{C}$  adalah  $0.2^{\circ}\text{C}$ , sedangkan untuk ASTM E1112-00 toleransi maksimal pengukuran termometer non-raksa dengan temperatur  $<35.8^{\circ}\text{C}$  adalah  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ . Berikut data hasil pengukuran dan perhitungan selengkapnya:

Tabel 3.3 Perhitungan Kalibrasi Termometer Digital

No.	T <sub>Raksa</sub>	T <sub>Digital</sub>	ΔT <sub>Koreksi</sub>	D <sub>1</sub> -D	[D <sub>1</sub> -D] <sup>2</sup>	ΔT [%]
1	2	2	0	-0,120	0,0144	0%
2	4	4	0	-0,120	0,0144	0%
3	6	5,6	0,4	0,280	0,0784	6,67%
4	8	8	0	-0,120	0,0144	0%
5	9	9	0	-0,120	0,0144	0%
6	10	10	0	-0,120	0,0144	0%
7	12	12	0	-0,120	0,0144	0%
8	13	13	0	-0,120	0,0144	0%
9	14	14	0	-0,120	0,0144	0%
10	16	16,4	0,4	0,280	0,0784	2,5%
11	17	17	0	-0,120	0,0144	0%
12	18	18,5	0,5	0,380	0,1444	2,78%
13	19	19	0	-0,120	0,0144	0%
14	20	20	0	-0,120	0,0144	0%
15	23	23,5	0,5	0,380	0,1444	2,2%
		$\bar{x} =$	0,120		$\bar{x} =$	0,94%



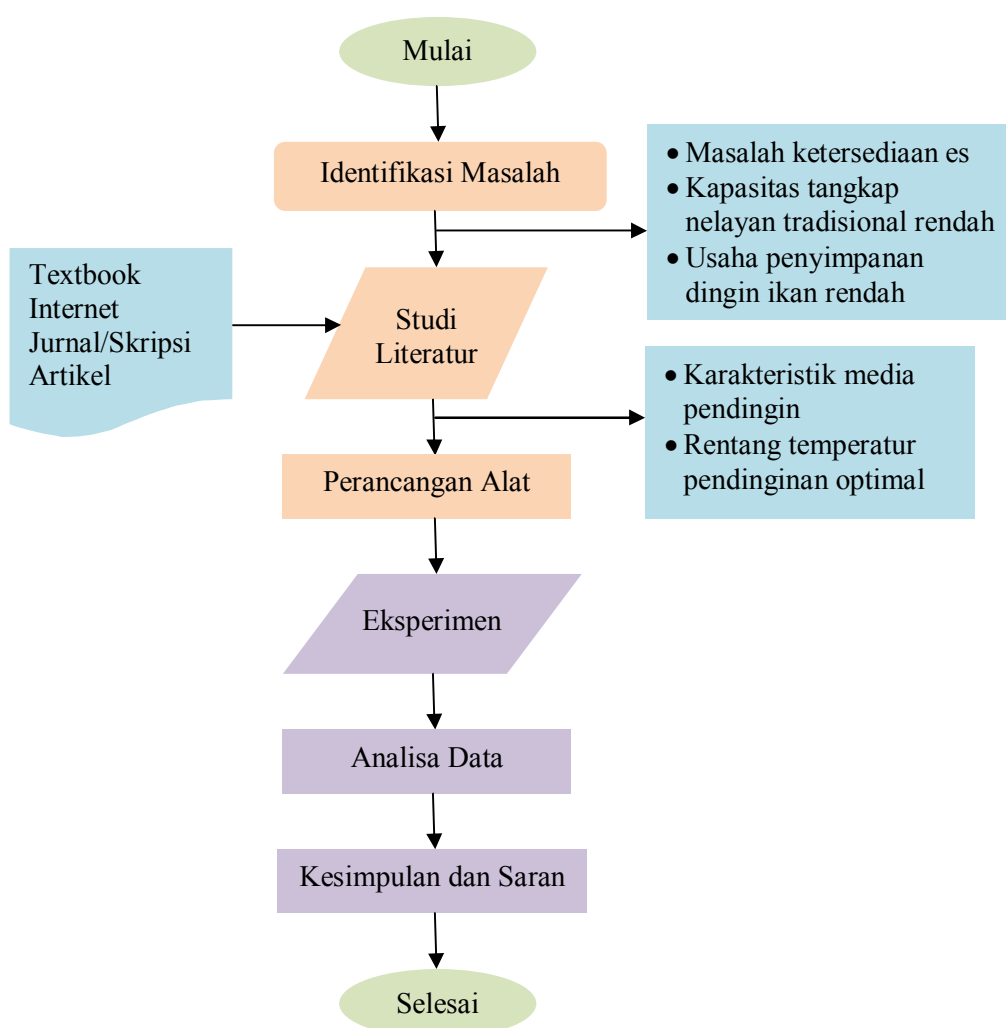
Gambar 3.3 Grafik Distribusi Temperatur Hasil Pengukuran

### 3.2.3. Langkah-Langkah Eksperimen

Langkah- langkah yang dilakukan dalam eksperimen ini adalah:

1. *Coolbox* dibuat terlebih dahulu seperti pada gambar model sebagai media penyimpanan temperatur rendah
2. Memasukkan es basah dan *ice gel propylene glycol* dalam *coolbox* dengan perbandingan yang sudah ditentukan
3. Catat dan amati perubahan temperatur dan waktu yang dicapai dalam rentang/range yang telah ditentukan
4. Lakukan hal yang sama pada variasi yang lain

### 3.3 Alur Pengerjaan Tugas Akhir



**Gambar 3.4 Alur Pengerjaan Tugas Akhir**

### 3.3.1 Deskripsi *Flowchart*

Dalam setiap pekerjaan yang dilakukan tentu dibutuhkan sebuah proses yang runtut, jelas dan terstruktur. Hal ini dimaksudkan agar hasil pekerjaan yang didapat menjadi baik dan maksimal. Begitu pula dalam pelaksanaan eksperimen tugas akhir ini disusun berdasarkan alur pengerjaan yang telah ditentukan. Adapun penjabaran masing-masing tahap dalam *flowchart* adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini merupakan langkah awal dalam pengerjaan tugas akhir. Pencarian atau identifikasi terhadap masalah yang ada dengan melakukan penggalian informasi pada sumber-sumber yang tersedia. Dari tahap ini pula, dilakukan penentuan serta pepersamaan masalah yang dianggap layak dan penting untuk diangkat dalam penelitian tugas akhir. Tujuan dan manfaat yang akan diperoleh dari hasil penelitian ini juga didefinisikan disini.

2. Studi Literatur

Tahap ini dilakukan bertujuan untuk lebih meningkatkan pemahaman mengenai permasalahan yang diangkat dalam penelitian tugas akhir. Tinjauan serta teori-teori yang mendukung penyelesaian permasalahan dipahami serta dikaji agar mendapatkan pijakan yang kuat pada penyelesaian yang dipilih. Studi literature diperoleh dari jurnal, buku teks, artikel di media, dll.

3. Perancangan Alat

Perancangan alat yang dimaksud dalam penelitian tugas akhir ini adalah kotak pendingin atau *coolbox* yang digunakan dalam eksperimen. Desain *coolbox* yang digunakan mengacu pada beberapa kajian serta penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, sehingga *coolbox* yang dibuat merupakan desain yang dianggap cukup optimal.

4. Eksperimen

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data dari eksperimen menggunakan *coolbox* yang telah dibuat sebelumnya. Eksperimen ini terdapat dua kelompok yaitu: eksperimen data sekunder dan eksperimen data primer. Eksperimen data sekunder dilakukan untuk mendapatkan data yang nantinya akan mendukung hasil dari eksperimen data primer. Temperatur dari pendinginan ikan pada *coolbox* dicatat untuk mendapatkan grafik tren pada kombinasi es basah dan *ice gel* yang berbeda.

5. Analisa Data

Dari hasil eksperimen yang didapat maka selanjutnya dilakukan analisa data. Analisa ini bertujuan mengkaji kesesuaian dengan hipotesis, mengetahui efektifitas, menilai perbandingan dengan hasil penelitian yang telah ada, dengan tren pendinginan yang didapatkan. Setelah pengkajian dan pembahasan ini maka dapat ditarik kesimpulan atas hasil tersebut terhadap permasalahan yang coba dipecahkan.

## 6. Kesimpulan dan Saran

Rangkaian terakhir dari penelitian tugas akhir ini merupakan kesimpulan atau hasil yang telah didapatkan dan dianalisa telah memberikan jawaban penyelesaian. Selain itu penambahan saran-saran terkait hasil analisa yang dilakukan diharapkan dapat membantu mempermudah penelitian terkait yang akan dilakukan mendatang.

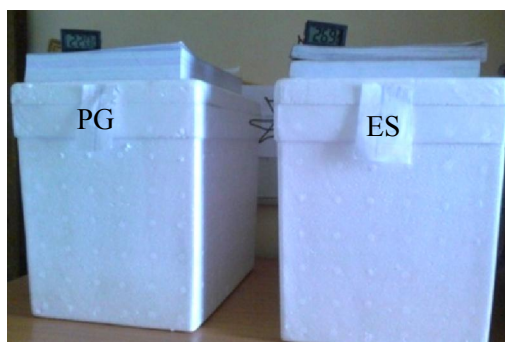
## 3.4 Eksperimen Sekunder

Eksperimen ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan mempertahankan temperatur atau pendinginan dari *ice gel*. Alat dan bahan serta tahapan percobaan hampir sama dengan eksperimen primer. Perbedaan dari eksperimen primer adalah eksperimen ini menggunakan kotak styrofoam kecil, tidak dilakukan kombinasi pendingin es dengan *ice gel* serta dilakukan tanpa pembebanan. Untuk variasi eksperimen terdapat dua varian yaitu: pertama, eksperimen perbandingan kapasitas pendinginan berdasarkan berat *ice gel* dan es basah; kedua, eksperimen kapasitas pendinginan berdasarkan lama waktu simpan *ice gel* dalam *freezer*. Berikut variasi yang diterapkan pada eksperimen tersebut yaitu:

**Tabel 3.4 Jenis- Jenis Variasi Eksperimen Sekunder**

Kapasitas Pendinginan			
(1) Berat		(2) Lama Waktu Simpan	
<i>Ice gel</i> [Kg]	Es Basah [Kg]	Berat <i>Ice gel</i> [Kg]	Waktu Simpan [Hari]
0,5	0,5	0,5	1
1	1		2
1,5	1,5		3
2	2		4

Khusus untuk eksperimen perbandingan kapasitas pendinginan berdasarkan berat *ice gel* dan es basah, temperatur awal dari *ice gel* dan es basah dibuat sama. Gambar dibawah ini merupakan proses pengambilan data pada eksperimen sekunder dengan menggunakan kotak styrofoam kecil.



**Gambar 3.5 Kotak Styrofoam pada Eksperimen Sekunder**



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Perhitungan

Asumsi durasi melaut yang digunakan maksimal 24 jam atau *one day fishing*.

#### 4.1.1 Beban Pendinginan Eksperimen Primer

##### a. Beban Produk

Dihitung menggunakan persamaan (3) dengan nilai-nilai berikut:

$$\begin{array}{lll} m_f \text{ [Kg]} & : & 4 \\ c_p \text{ [kkal/kg}^\circ\text{C]} & : & 0,9 \end{array} \quad \begin{array}{lll} t_1 \text{ [}^\circ\text{C]} & : & 0 \\ t_2 \text{ [}^\circ\text{C]} & : & 30 \end{array}$$

Nilai  $c_p$  tersebut merupakan nilai secara umum, tetapi juga dapat menggunakan formula siebel (1) dan (2) untuk pendekatan nilai  $c_p$  yang lebih akurat. Formula yang digunakan adalah  $C_{p2}$  untuk nilai diatas titik beku ikan serta menggunakan nilai umum fraksi air pada ikan yaitu 80%.

$$C_{p2} = 0,837 + 1,256 \cdot 80\% = 3,5162 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} = 0,847 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C}$$

sehingga besar beban produk adalah :

$$Q_f = 4 \cdot 3,51 \cdot (30 - 0) = 421,94 \text{ kJ}$$

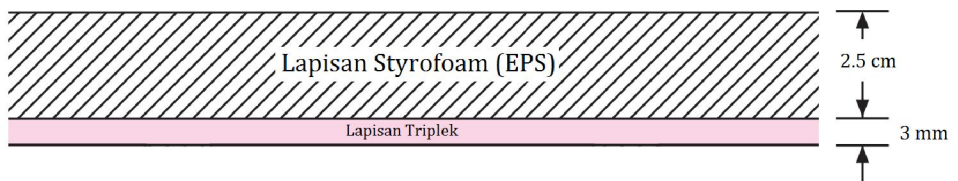
##### b. Beban infiltrasi

Asumsi secara umum sebesar 15% dari beban total penerimaan panas permukaan (Ilyas.1983).

$$Q_{\text{infiltrasi}} = 15\% \cdot 1539,85 = 230,98 \text{ kJ}$$

##### c. Beban Transmisi

Merupakan beban panas yang masuk ke dalam *coolbox* selama proses pendinginan berlangsung. Dapat dihitung menggunakan persamaan (4). Beban ini sangat dipengaruhi oleh lapisan material insulasi yang digunakan dan luas permukaan *coolbox*. Untuk insulasi pada *coolbox* pada eksperimen ini yaitu:



dengan spesifikasi sebagai berikut:

Konduktivitas termal		Tebal
Exp. Polystyrene :	0,03 kkal/jam m <sup>0</sup> C	2,5 cm
Playwood/Triplek :	0,14 kkal/jam m <sup>0</sup> C	3 mm

Nilai konduktivitas termal menyeluruh dihitung menggunakan persamaan (5). Berdasarkan ASHRAE Data Book (1972) dalam Principles of Refrigeration: 4<sup>th</sup> Edition (Dossat 1997), diketahui untuk nilai konduktivitas udara yaitu:

Kondisi	Nilai
Still air	1,65
Moving air (7,5 mph)	4
Moving air (15 mph)	6

Nilai konduktivitas termal menyeluruh:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{4} + \frac{0,025}{0,03} + \frac{0,003}{0,14} + \frac{1}{1,6}} = 0,585 \text{ kkal/m}^2 \text{ jam.}^\circ\text{C}$$

Perhitungan luas permukaan *coolbox* dalam perhitungan perpindahan panas umumnya hanya luas permukaan luar, namun dikarenakan luasan permukaan dalam yang mengemisikan panas dari luar berbeda maka perlu untuk diperhitungkan. Cukup sulit untuk mengidentifikasi efek dari paparan lingkungan pada kondisi penempatan *coolbox* yang acak. Oleh karena itu setiap sisi *coolbox* diasumsikan terkena paparan lingkungan secara penuh untuk mempermudah perhitungan. Persamaan (7) digunakan untuk menentukan luas permukaan dari spesifikasi *coolbox* berikut:

Bagian	<i>p</i>	<i>l</i>	<i>t</i>
Luar	0,52 m	0,37 m	0,34 m
Dalam	0,47 m	0,32 m	0,29 m

Luas permukaan masing-masing:

Bagian Luar			Bagian Dalam		
Luasan Atas (2) :	0,38	m <sup>2</sup>	Luasan Atas (2) :	0,30	m <sup>2</sup>
Luasan 2 Sisi (L) :	0,25	m <sup>2</sup>	Luasan 2 Sisi (L) :	0,18	m <sup>2</sup>
Luasan 2 Sisi (P) :	0,35	m <sup>2</sup>	Luasan 2 Sisi (P) :	0,27	m <sup>2</sup>
Total =	0,99	m <sup>2</sup>	Total =	0,76	m <sup>2</sup>

Menggunakan persamaan (7) luas permukaan yang diperoleh: 0,8745 m<sup>2</sup>, sehingga nilai panas transmisi dapat dihitung dengan persamaan (4) yaitu:

$$Q_{trans} = 0,585 \cdot 0,8745 \cdot (30 - 0) = 368,03 \text{ kkal} = 1539,85 \text{ kJ}$$

Jumlah total beban pendinginan adalah beban produk, beban transmisi dan beban infiltrasi yaitu 2192,77 kJ atau 25,38 W.

#### 4.1.2 Kebutuhan Media Pendingin

Usaha pendinginan ikan selalu berkaitan erat dengan media pendingin atau refrigerant sebagai zat atau material yang menyerap panas dan mempertahankan temperatur. Dalam eksperimen ini refrigeran atau media pendingin yang digunakan yaitu es basah dan *ice gel*. Kuantitas pendinginan sangat bergantung pada karakteristik masing-masing refrigerant yang dipakai. Berikut karakteristik termal dari es basah dan *ice gel*:

<i>Ice gel</i>		Es basah	
PG Content $\pm 20\%$			
Panas laten		Panas laten	
314	kJ/kg	331,84	kJ/kg
Panas spesifik		Panas spesifik	
0,95	kkal/kg°C	0,49	kkal/kg°C
3940,6	J/kg°C	2032,5	J/kg°C
3,9406	kJ/kg°C	2,0325	kJ/kg°C

Untuk perhitungan panas sensibel dan laten dari es basah dan *ice gel* masing-masing 1 kg menggunakan persamaan (9) dan (10). Total kemampuan media pendingin menyerap panas dihitung dengan persamaan (11). Berat *ice gel* yang digunakan sesuai kemasan dipasaran yaitu 0,5 kg.

Panas sensibel:

<i>Ice gel</i>	Es Basah
$Q_s = \frac{0,5 \cdot 3,94 (0-30) 10^3}{24 \cdot 3600} = -0,684 \text{ W}$	$Q_s = \frac{1 \cdot 2,03 (0-30) 10^3}{24 \cdot 3600} = -0,705 \text{ W}$

Panas laten:

$Q_l = \frac{0,5 \cdot 314 \cdot 10^3}{24 \cdot 3600} = (-)1,82 \text{ W}$	$Q_l = \frac{1 \cdot 81 \cdot 10^3}{24 \cdot 3600} = (-)3,84 \text{ W}$
--	---

Total:

-2,50 W/kg	-4,55 W/kg
------------	------------

Tanda negatif tersebut menandakan kemampuan media pendingin dalam menyerap panas setiap satuan waktu. Jumlah kebutuhan es basah dan *ice gel* untuk durasi melaut 24 jam atau *one day fishing* dapat diketahui menggunakan persamaan (12).

<i>Ice gel</i>	Es Basah
$n = \left  \frac{25,38}{-2,50} \right  = 10,1 \text{ pack} = 5,0 \text{ kg } ice \text{ gel}$	$n = \left  \frac{25,38}{-4,55} \right  = 5,6 \text{ kg es basah}$

Pada eksperimen ini dilakukan kombinasi media pendingin es basah dan *ice gel*. Perhitungan panas sensibel dan laten kombinasi tersebut untuk durasi melaut 24 jam atau *one day fishing* juga menggunakan persamaan (9) dan (10).

Kombinasi	<i>Ice gel</i>					
<i>Ice gel:Es</i>	sensibel		laten		total	
kg	kJ	W	kJ	W	kJ	W
4:0	-472,9	-5,5	-1256	-14,5	-1734,3	-20,1
3:1	-354,7	-4,1	-942	-10,9	-1300,8	-15,1
2:2	-236,4	-2,7	-628	-7,3	-867,2	-10
1:3	-118,2	-1,4	-314	-3,6	-433,6	-5
0:4	0	0	0	0	0	0

Kombinasi	Es Basah					
<i>Ice gel:Es</i>	sensibel		laten		total	
kg	kJ	W	kJ	W	kJ	W
4:0	0	0	0	0	0	0
3:1	-61	-0,7	-331,8	-3,8	-393,5	-4,6
2:2	-122	-1,4	-663,7	-7,7	-787	-9,1
1:3	-182,9	-2,1	-995,5	-11,5	-1180,6	-13,7
0:4	-243,9	-2,8	-1327,4	-15,4	-1574,1	-18,2

Total Kombinasi						
<i>Ice gel:Es</i>	sensibel		laten		total	
kg	kJ	W	kJ	W	kJ	W
4:0	-472,9	-5,5	-1256,0	-14,5	-1734,3	-20,1
3:1	-415,6	-4,8	-1273,8	-14,7	-1694,3	-19,6
2:2	-358,4	-4,1	-1291,7	-15	-1654,2	-19,1
1:3	-301,1	-3,5	-1309,5	-15,2	-1614,2	-18,7
0:4	-243,9	-2,8	-1327,4	-15,4	-1574,1	-18,2

#### 4.1.3 Beban Pendinginan Eksperimen Sekunder

Pada eksperimen ini tidak menggunakan pembebanan ikan, sehingga beban dari produk tidak dilakukan perhitungan.

##### a. Beban infiltrasi

Asumsi secara umum sebesar 15% dari beban total penerimaan panas permukaan (Ilyas.1983).

$$Q_{\text{infiltrasi}} = 15\% \cdot 433,16 = 64,97 \text{ kJ}$$

##### b. Beban Transmisi

Pada eksperimen ini hanya menggunakan kotak styrofoam atau *expanded polystyrene* (EPS) kecil sebagai kotak penyimpanan. Untuk insulasi

pada *coolbox* untuk eksperimen memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Konduktivitas termal	Tebal
Exp. Polystyrene : 0,03 kkal/jam m <sup>0</sup> C	2,0 cm

Nilai konduktivitas termal menyeluruh dihitung menggunakan persamaan (5). Berdasarkan ASHRAE Data Book (1972), diketahui untuk nilai konduktivitas udara yaitu:

Kondisi	Nilai
Still air	1,65
Moving air (7,5 mph)	4
Moving air (15 mph)	6

Nilai konduktivitas termal menyeluruh:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{4} + \frac{0,02}{0,03} + \frac{1}{1,6}} = 0,657 \text{ kkal/m}^2 \text{ jam.}^{\circ}\text{C}$$

Persamaan (7) digunakan untuk menentukan luas permukaan dari spesifikasi *coolbox* berikut:

Bagian	<i>p</i>	<i>l</i>	<i>t</i>
Luar	0,335 m	0,245 m	0,30 m
Dalam	0,295 m	0,205 m	0,255 m

Luas permukaan masing-masing:

Bagian Luar			Bagian Dalam		
Luasan Atas (2) :	0,16	m <sup>2</sup>	Luasan Atas (2) :	0,12	m <sup>2</sup>
Luasan 2 Sisi (L) :	0,15	m <sup>2</sup>	Luasan 2 Sisi (L) :	0,09	m <sup>2</sup>
Luasan 2 Sisi (P) :	0,20	m <sup>2</sup>	Luasan 2 Sisi (P) :	0,15	m <sup>2</sup>
Total =	0,51	m <sup>2</sup>	Total =	0,36	m <sup>2</sup>

Menggunakan persamaan (7) luas permukaan yang diperoleh: 0,4379 m<sup>2</sup>, sehingga nilai panas transmisi dapat dihitung dengan persamaan (4) dengan estimasi durasi sekitar 12 jam yaitu:

$$Q_{trans} = 0,657 \cdot 0,8379 \cdot (30 - 0) \cdot 0.003 = 103,53 \text{ kkal} = 433,16 \text{ kJ}$$

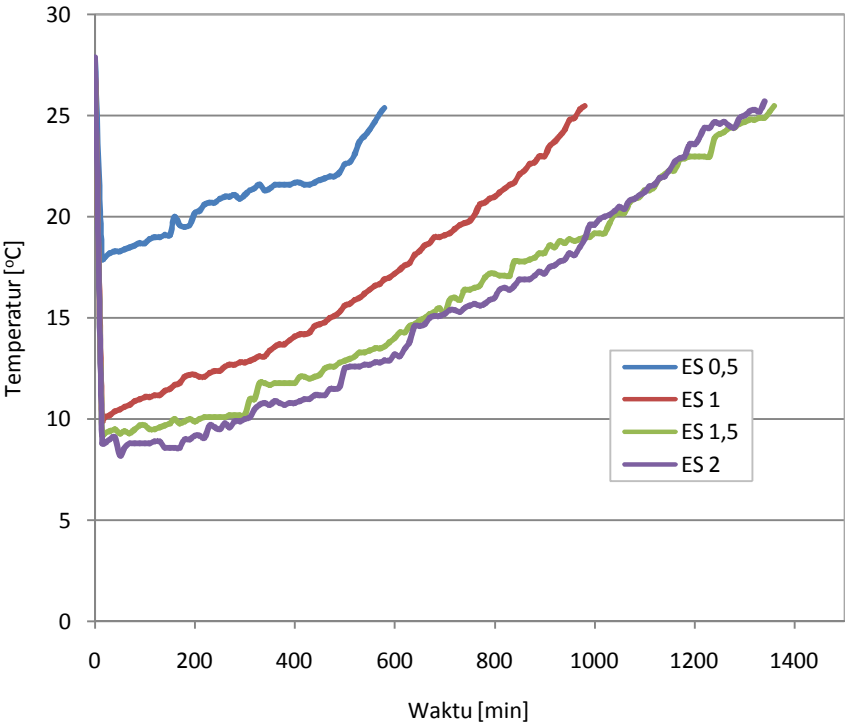
Jumlah total beban pendinginan adalah beban produk, beban transmisi dan beban infiltrasi yaitu 498,13 kJ atau 11,53 W. Perhitungan panas sensibel dan laten kombinasi tersebut untuk 12 jam juga menggunakan persamaan (9) dan (10).

Berat	Es Basah					
	sensibel		laten		total	
kg	kJ	W	kJ	W	kJ	W
0,5	-30,5	-0,7	-165,9	-3,8	-196,8	-4,6
1	-61,0	-1,4	-331,8	-7,7	-393,5	-9,1
1,5	-91,5	-2,1	-497,8	-11,5	-590,3	-13,7
2	-122,0	-2,8	-663,7	-15,4	-787,0	-18,2

Berat	Ice gel					
	sensibel		laten		total	
kg	kJ	W	kJ	W	kJ	W
0,5	-59,1	-1,4	-157,0	-3,6	-216,8	-5,0
1	-118,2	-2,7	-314,0	-7,3	-433,6	-10,0
1,5	-177,3	-4,1	-471,0	-10,9	-650,4	-15,1
2	-236,4	-5,5	-628,0	-14,5	-867,2	-20,1

4.2. Analisa Kemampuan Pendinginan *Ice gel* dan Es Basah

Eksperimen ini merupakan eksperimen sekunder yang khusus mengamati kemampuan masing-masing media pendingin tanpa dilakukan kombinasi.



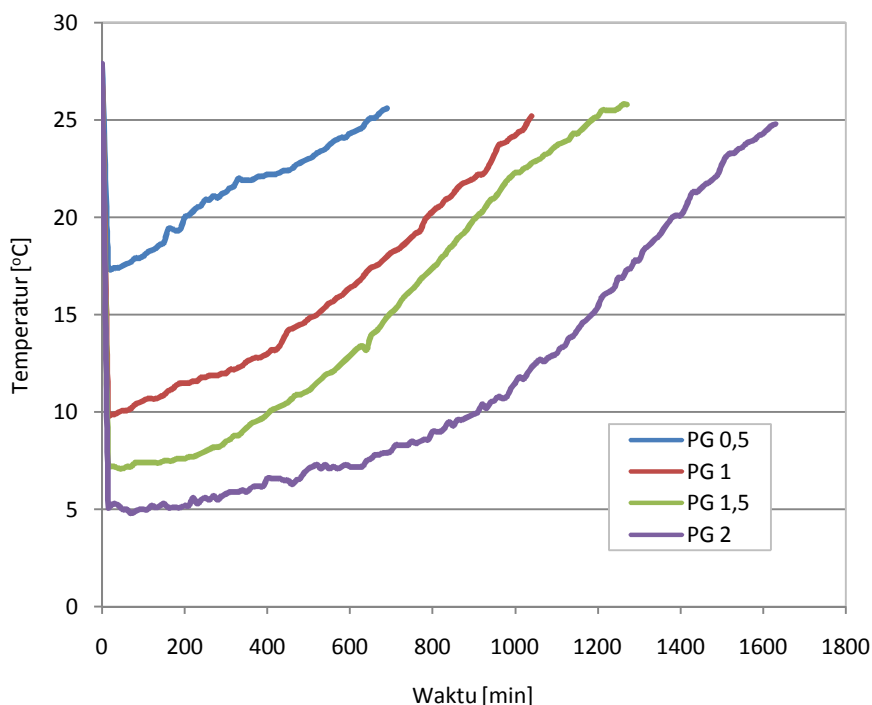
Gambar 4.1 Grafik Pendinginan Es Basah Kelipatan Berat Tanpa Beban

Kapasitas termofisik media pendingin dalam mempertahankan temperatur tanpa adanya pembebanan dapat diketahui dengan melihat grafik tren yang didapatkan. Panas yang perlu ditanggulangi hanya panas yang berasal dari transmisi lingkungan melalui cara konduksi, konveksi dan radiasi, serta panas yang berasal dari infiltrasi.

Pada gambar 4.1 grafik tren pendinginan. Untuk media pendingin es seberat 0,5kg mampu mencapai temperatur terendah yaitu 17,9 °C dalam 15 menit. 1kg es mencapai temperatur paling rendah 9,9 °C dalam waktu 15 menit. Sedangkan 1,5kg es temperatur terendahnya adalah 9,2 °C pada menit ke-15. Terakhir 2kg es mampu mencapai 8,2 °C di menit ke-50.

Untuk temperatur tertinggi es basah dari masing-masing berat, yaitu: 28,1 °C; 25,5 °C; 25,5 °C; dan 28 °C; berturut-turut pada menit ke-690; ke-980; ke-1360; dan ke-1500.

Capaian waktu yang dicatat untuk temperatur terendah dari tiga berat es pertama berada pada menit ke-15. Hal tersebut menunjukkan bahwa es memiliki kemampuan pendinginan yang cepat. Kecepatan tersebut didapatkan karena pengaruh dari ukuran hancuran es. Semakin kecil ukuran es maka laju pendinginan meningkat tetapi laju pencairan juga ikut meningkat.



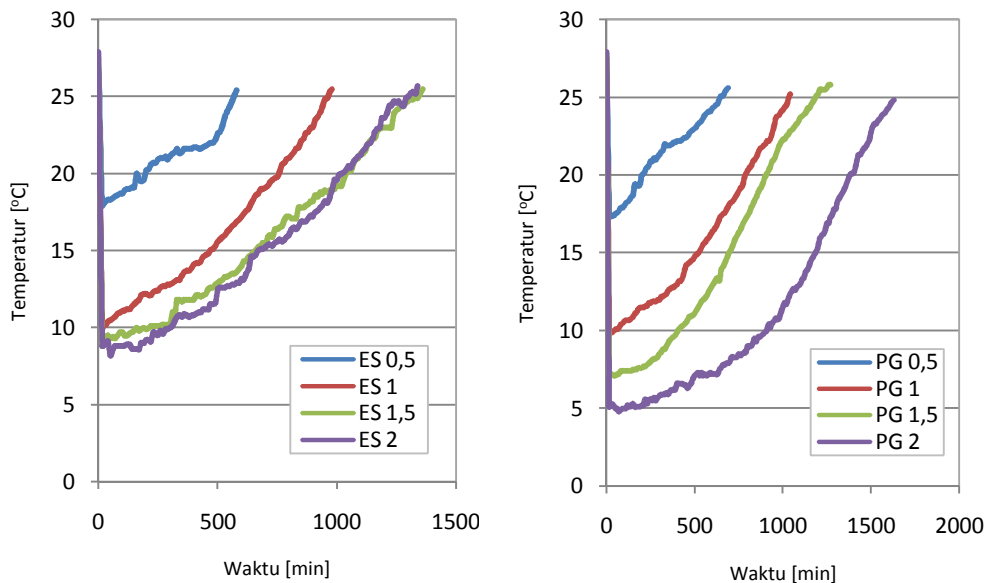
**Gambar 4.2 Grafik Pendinginan *Ice gel* Kelipatan Berat Tanpa Beban**



Pada grafik diatas gambar 4.2, merupakan grafik tren dari *ice gel* dengan berat yang berbeda. *Ice gel* dengan berat 0,5kg mencapai temperatur terendahnya 17 °C pada menit ke-20. Untuk 1kg *ice gel* pada menit ke-15 mencapai temperatur terendahnya yaitu 9,8 °C. Untuk *ice gel* dengan berat 1,5kg dan 2kg mencapai temperatur terendah yaitu 7,1 °C dan 4,8 °C pada menit ke-50 dan menit ke-70.

Temperatur tertinggi yang dicapai *ice gel* masing-masing yaitu 25,6 °C; 25,2 °C; 26,8 °C; dan 24,8 °C dengan waktu berturut-turut: 690 menit, 1040 menit, 1360 menit, dan 1630 menit.

Agar mendapatkan suatu pemahaman yang baik tentang kemampuan masing-masing media pendingin tersebut, maka dilakukan perbandingan grafik diantara keduanya. Berikut pembahasannya:



**Gambar 4.3 Perbandingan Pendinginan Es Basah dan *Ice gel* Tanpa Beban**

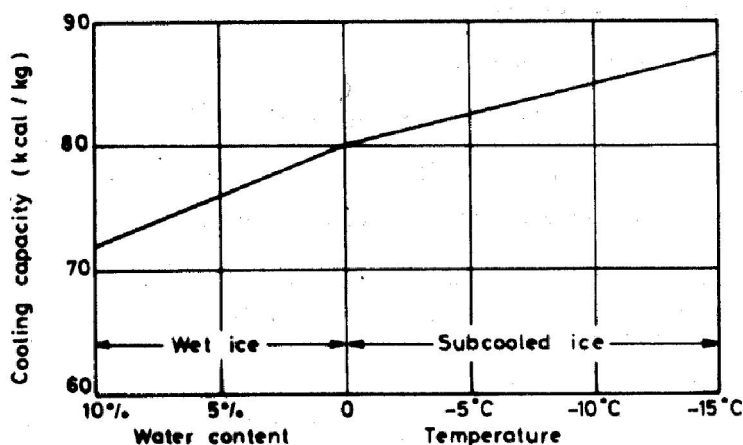
Pada grafik tersebut dapat dilihat tren yang terjadi pada *ice gel* dan es basah. Pengamatan ini dilakukan pada temperatur awal masing-masing media pendingin sama. Hal ini dimaksudkan memberikan hasil perbandingan lebih baik dan akurat apabila kondisi masing-masing sama dan setara. Penyetaraan temperatur awal sebelum eksperimen dilakukan, cukup sulit. Selain sifat termofisik media pendingin yang berbeda, juga banyak faktor lain yang mempengaruhi temperatur sehingga membutuhkan waktu cukup lama demi mendapatkan temperatur awal yang sama. Temperatur awal yang disamakan berturut-turut untuk berat media pendingin 0,5kg; 1kg; 1,5kg; dan 2kg yaitu: 0,5°C; -0,8°C; -0,1 °C; -0,3 °C.

Kemampuan pendinginan suatu media pendingin sangat tergantung pada sifat termofisik yang dimiliki, terutama sifat panas sensibel dan panas laten. Es basah memiliki panas spesifik 2,03 kJ/kg°C pada temperatur 0 °C dan panas laten sebesar

333,84 kJ/kg (Myers.1981). Untuk *ice gel* dengan PG content  $\pm 20\%$  dari berat total memiliki panas spesifik 3,94 kJ/kg°C dan panas laten 314 kJ/kg (INOAC Thai 2017).

Berdasarkan sifat tersebut dapat disimpulkan bahwa secara umum es basah memiliki kapasitas panas laten lebih besar dibandingkan *ice gel* tetapi lebih kecil untuk panas spesifiknya daripada *ice gel*. Pada eksperimen ini kemampuan panas spesifik es basah maupun *ice gel* menjadi berkurang karena proses penyamaan temperatur awal menyebabkan temperatur es cenderung lebih tinggi daripada ketika baru keluar dari *freezer*. Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai kemampuan pendinginan yang berasal hanya dari panas laten untuk es basah berturut-turut: -165,9kJ; -331,8kJ; -497,76kJ dan -663,68kJ dibandingkan dengan kemampuan *ice gel* dari panas laten: -157kJ; -314kJ; -471kJ dan -628kJ.

Kemampuan penyerapan panas laten yang lebih tinggi dari es basah mengakibatkan es basah lebih cepat meleleh. Hal tersebut dapat dilihat pada tren yang terjadi pada gambar 4.3. Es basah dengan berat 2kg ternyata hanya mampu mencapai temperatur terendah 8,2°C pada menit ke-50. Dibandingkan dengan *ice gel* dengan berat yang sama mampu mencapai temperatur 4,8°C pada menit ke-70. Hal ini disebabkan penyamaan temperatur awal media pendingin sebelum dilakukan eksperimen yang mendekati titik lebur dari es basah, sehingga es basah kemungkinan besar telah berubah fase dari padat menjadi campuran padat-cair. Sifat termofisik es basah seketika berubah ketika berubah fase dari hanya padat menjadi campuran es padat-air, menyebabkan kemampuannya pun tidak lagi sama (Adawyah. 2007). Kemampuan penyerapan yang dihasilkanpun menurun dan hanya mampu mencapai temperatur 8,2°C.



**Gambar 4.4 Pengaruh Kondisi Es Basah Pada Pendinginan (Graham et al. 1992)**

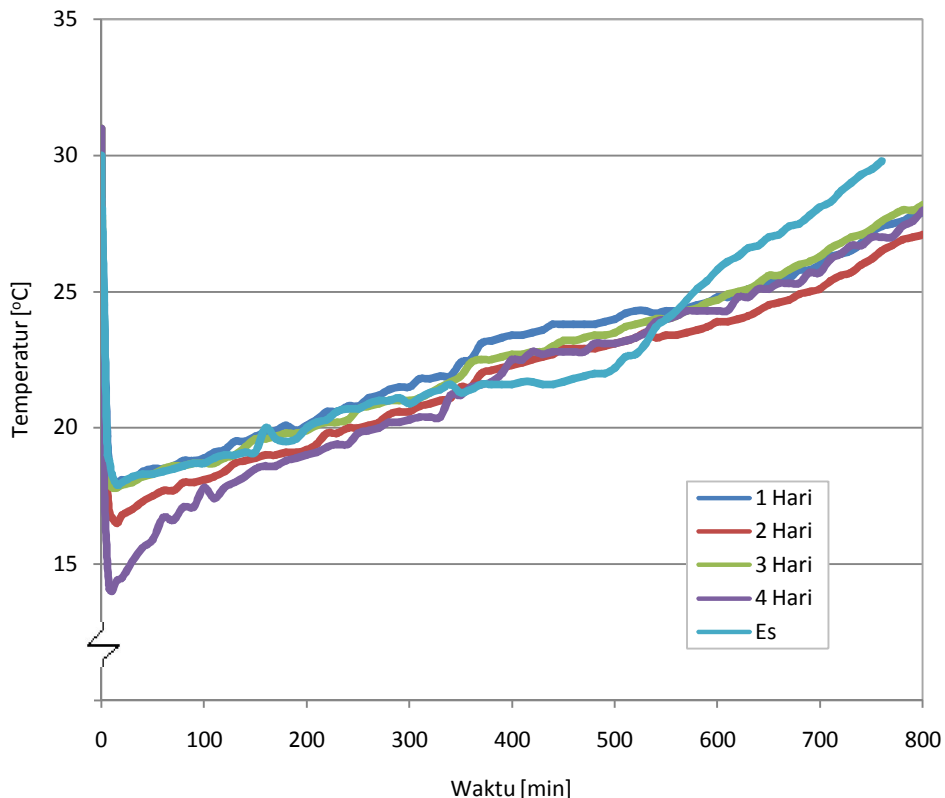
Disisi lain es basah dalam mencapai temperatur terendahnya hanya memerlukan waktu 50 menit dibandingkan dengan *ice gel* yang memerlukan waktu 70 menit. Penyebab dari keadaan tersebut adalah kemampuan penyerapan panas es basah yang lebih besar membuat temperatur cepat turun namun juga cepat mengalami

perubahan fase. *Ice gel* karena kapasitas peyerapan panas yang lebih rendah serta kecepatan perubahan fase yang lebih lambat dibandingkan dengan es basah menghasilkan waktu untuk menurunkan temperatur menjadi lebih lama.

#### 4.3. Analisa Pengaruh Waktu Simpan *Ice gel* Terhadap Pendinginan

Setiap media pendingin seringkali disediakan satu tempat penyimpanan sebelum digunakan. Bisa berupa *cold storage*, gudang, kotak kayu, *coolbox* dan lain sebagainya. Tujuannya yaitu agar kemampuan pendinginan dari media pendingin tersebut tetap terjaga baik sebelum digunakan.

Jumlah media pendingin yang disimpan juga acapkali dalam kuantitas yang besar. Selain agar menghemat waktu dan biaya, pengaturan penggunaanya juga lebih mudah dan fleksibel. Dalam aktivitas harian tidak semua media pendingin tersebut dibawa atau digunakan, sehingga sebagian besar tetap disimpan dalam tempat penyimpanan.



**Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Waktu Simpan *Ice gel* Pada Pendinginan**

Pada eksperimen ini berat *ice gel* yang digunakan disamakan yaitu 0,5kg namun dilakukan perbedaan waktu simpan. Untuk *ice gel* dengan waktu simpan sehari, 2 hari, 3 hari dan 4 hari, didapatkan temperatur terendah yang dicapai berturut-turut: 18°C; 16,5°C; 17,8°C; 14°C; dicapai dalam waktu 15 menit, 15 menit, 10 menit, 10 menit eksperimen berlangsung. Temperatur tertinggi yang dicapai dalam waktu 800 menit adalah berturut-turut: 27,9 °C; 27,1 °C; 28,2 °C; dan 28 °C. Sedangkan pada es basah berat 0,5kg, temperatur terendah yang dicapai adalah 17,9 °C dalam 15 menit dengan temperatur tertinggi 29,8 °C pada menit ke-760.

Menurut Adawyah (2007), masa simpan es tidak mempengaruhi kemampuan pendinginan es, sehingga es yang disimpan lama sama efektifnya dengan yang baru dibuat. Untuk itu dilakukan eksperimen yang kedua ini mengenai efek penyimpanan terhadap *ice gel*. Apakah perilaku atau karakteristik *ice gel* serupa dengan karakteristik es basah terhadap waktu simpan seperti yang dikemukakan Adawyah.

Terlihat pada grafik untuk 0,5kg *ice gel* dengan masa simpan 1 hari memiliki kemiripan tren dengan tren dari 0,5kg es basah hingga menit ke-230. Disini sangat terlihat perbedaan karakteristik antara *ice gel* dengan es basah. Pada menit ke-230, *ice gel* masa simpan sehari tren yang dibentuk masih tetap menunjukkan kenaikan. Sedangkan es basah tren yang terbentuk mulai menunjukkan stagnasi atau grafik menunjukkan garis mendatar. Peristiwa tersebut dapat diterangkan berdasarkan sifat yang dimiliki es yaitu apabila terdapat campuran es dan air, maka tidak akan terjadi kenaikan temperatur campuran itu sebelum semua massa es mencair (Adawyah. 2007). Pada menit ke-230 dapat diduga bahwa es dalam kotak styrofoam sebagian telah mencair sehingga membentuk campuran es-air yang cukup banyak. Temperatur mulai stagnan dan tidak terjadi kenaikan sebelum semua es dalam campuran tersebut mencair. Kenaikan temperatur secara drastis terjadi pada menit ke-500 dimana temperatur naik dari 22,2°C menjadi 22,6 °C dalam 10 menit. Dapat diduga bahwa pada waktu tersebut seluruh es dalam campuran telah mencair sepenuhnya sehingga temperatur langsung mengalami kenaikan yang cukup tinggi.

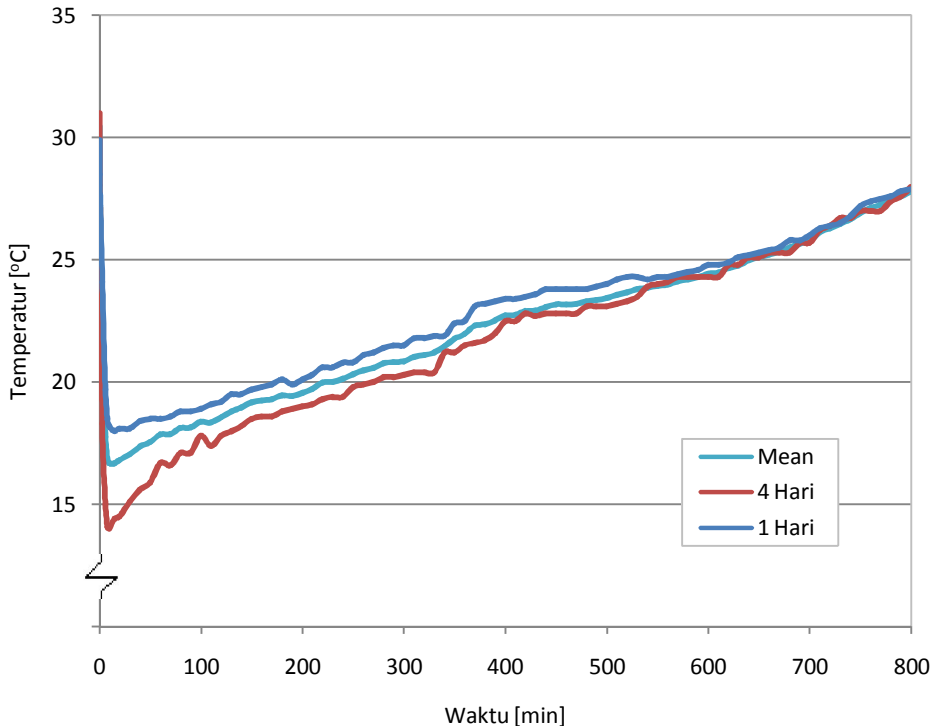
Lain halnya dengan *ice gel*, dimana tren grafik yang dibentuk cenderung konsisten. Hal ini berkaitan dengan sifat *ice gel* yang laju pendinginannya lambat namun laju pencairan atau kenaikan temperatur juga cukup lambat. Bentuk fisik berupa gel serta komposisi kimiawi yang menyusunnya menjadikan perubahan fase yang terjadi pada *ice gel* tidak se-drastis pada es basah, sehingga kenaikan temperatur yang terjadi pun cenderung landai.

Pengaplikasian *ice gel* sering kali digunakan untuk mempertahankan temperatur stabil. Salah satu contohnya aplikasi tersebut seperti penelitian-penelitian yang tercakup dalam topik *fish packing in transportation* yang membahas teknologi pengemasan produk terutama perikanan, yang umumnya dilakukan di negara-negara Eropa. Penelitian tersebut mengaji efek penggunaan media pendingin dalam pengiriman kemasan via transportasi darat, laut dan udara.

Pengemasan dengan penggunaan es kering sering kali menimbulkan temperatur jatuh ekstrim sehingga menyebabkan *freezing burn*. Penggunaan *ice gel* bersama es kering dalam pengemasan menghasilkan temperatur turun tidak terlalu ekstrim. Kemudian dapat kita amati pada grafik bahwa efek tersebut juga berlaku dalam

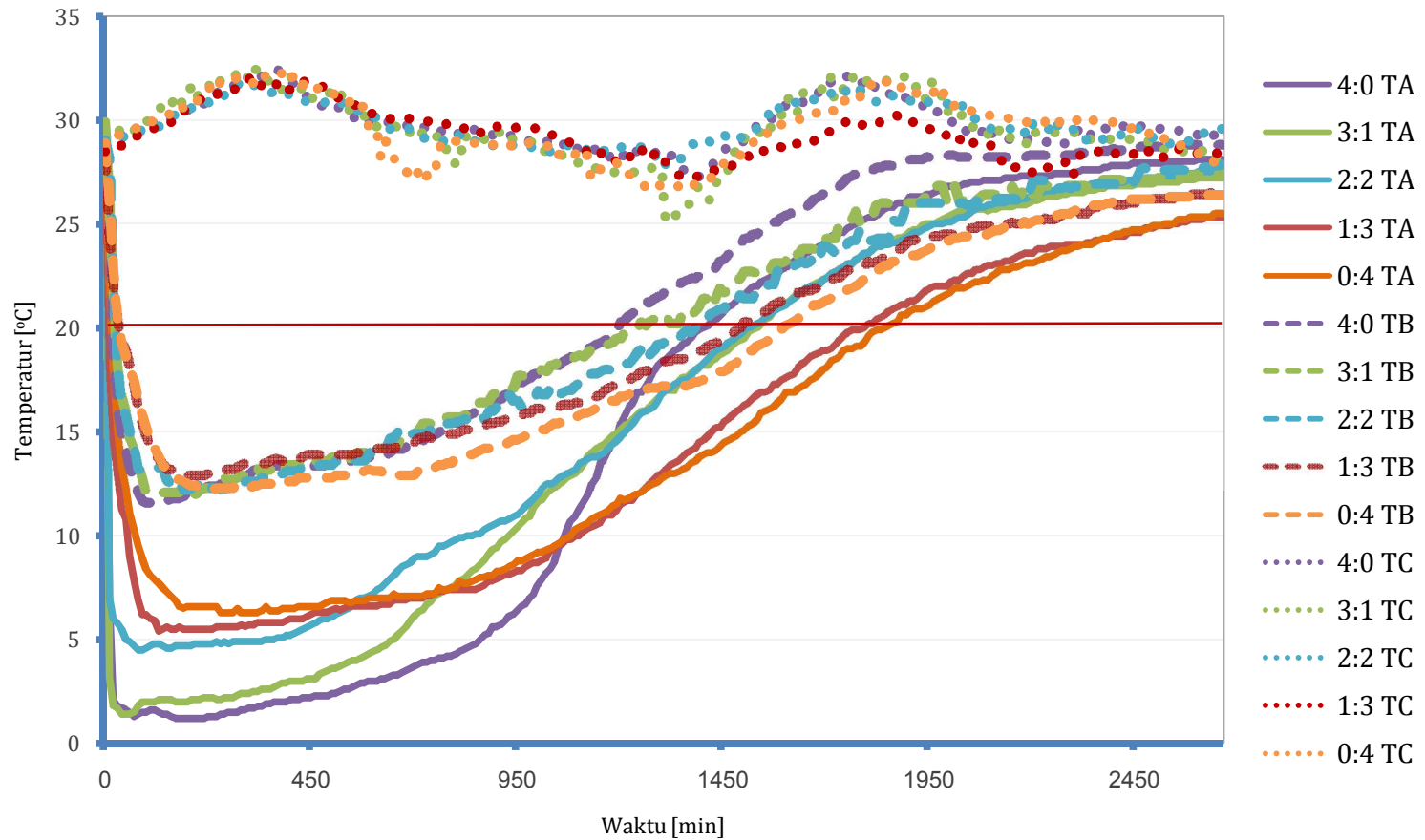
kenaikan temperatur pendinginan, dimana pengaruh perubahan *ambient temperature* atau temperatur lingkungan yang ekstrim dapat diantisipasi.

Tren dari grafik dibawah ini menunjukkan bahwa efek lama waktu penyimpanan berpengaruh setidaknya hanya sampai menit ke-390 pada *ice gel* 4 hari simpan.



**Gambar 4.6 Perbandingan Dengan Grafik Rata-Rata Temperatur**

Grafik *ice gel* umur 4 hari berada dibawah garis rata-rata temperatur *ice gel* dari keempat masa simpan tersebut. Garis *ice gel* 4 hari akhirnya mulai berhimpit atau setidaknya berselisih kecil dengan garis rata-rata pada menit ke-390. Hasil tersebut bersesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Asaoka et al. dalam Oró et al. (2012) yang mengembangkan prosedur penghitungan panas laten lebur es dari *aqueous solution*. Telah mengklarifikasi bahwa panas laten efektif es dari campuran propylene glycol tidak terpengaruh secara signifikan oleh temperatur campuran. Hal ini berarti lama waktu penyimpanan yang berpengaruh terhadap temperatur campuran hanya mempengaruhi *ice gel* pada panas sensibel saja tetapi tidak mempengaruhi panas latennya. Temperatur dalam eksperimen untuk *ice gel* berumur 4 hari hanya turun sampai menit ke-390 sebelum akhirnya naik dan bertemu dengan garis grafik dari *ice gel* berumur 1 hari, 4 hari dan garis rata-rata, dimana panas laten yang berperan utama dalam pendinginan.



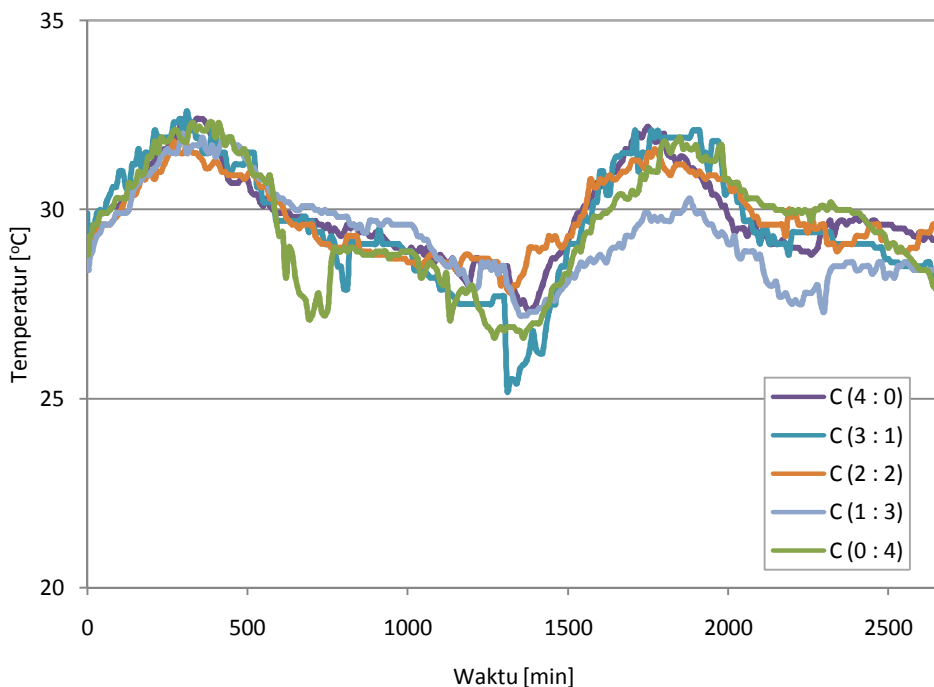
**Gambar 4.7 Grafik Temperatur Hasil Eksperimen Primer (*Ice gel* : Es Basah)**

#### 4.4. Analisa Kombinasi *Ice gel* dan Es Basah Terhadap Pendinginan

Setiap media pendingin memiliki keunggulan dan kelemahan. Berbagai upaya serta penelitian untuk meningkatkan kapasitas dan kemampuan pendinginan suatu media pendingin. Salah satunya yaitu dengan melakukan kombinasi. Pengaplikasian dua media pendingin sekaligus diharapkan mampu mengantisipasi kekurangan dari metode sebelumnya.

Karakteristik khas dari *ice gel* yaitu laju pendinginan yang lambat namun kenaikan temperatur yang terjadi juga lambat. Sedangkan es basah baik laju pendinginan maupun kenaikan temperatur setelahnya relatif cepat. Kombinasi dari keduanya diharapkan mampu menghasilkan proses pendinginan yang cepat tetapi mampu mempertahankan temperatur lebih lama.

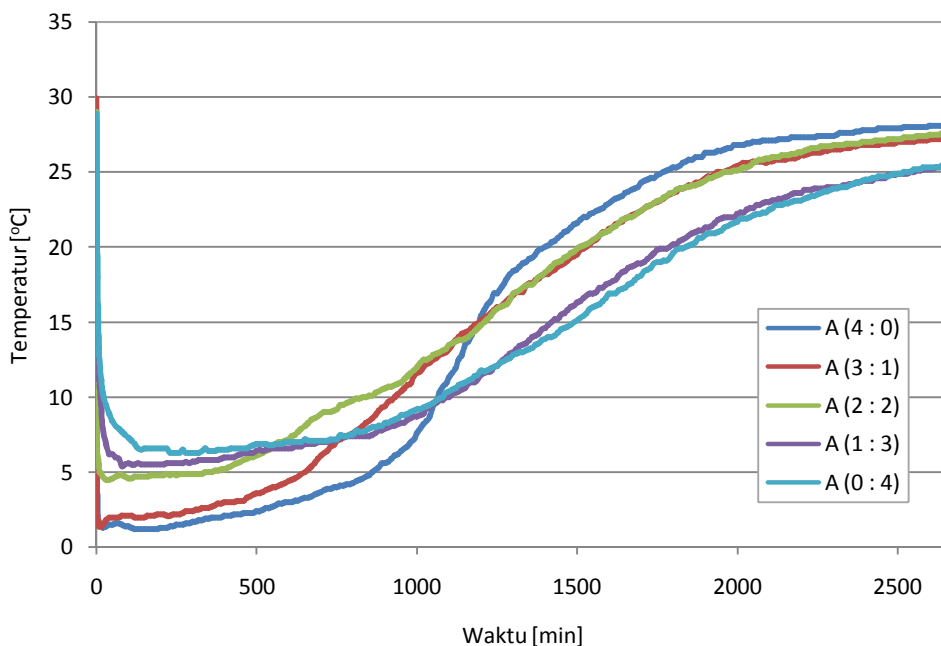
Terdapat 3 titik pengamatan yang dilakukan dalam eksperimen ini, yaitu A, B, dan C. Titik A diletakkan didasar *coolbox*. Untuk mengetahui temperatur pada posisi yang berdekatan dengan media pendingin. Titik B diletakkan di tengah diagonal ruang dalam *coolbox*. Penempatan ini bertujuan untuk mengukur temperatur dalam *coolbox* (*coolbox ambient temperature*). Sedangkan titik C diletakkan dibagian luar atas *coolbox*, sebagai indikator temperatur lingkungan atau *ambient temperature*.



**Gambar 4.8 Grafik Temperatur Titik C**

Pertama, hasil pengukuran pada titik C atau *ambient temperature*. Fluktuasi temperatur lingkungan pada eksperimen kombinasi es basah 4kg dengan *ice gel* 0kg

rata-rata temperatur: 29,8°C, temperatur tertinggi adalah 32,4°C, sedangkan terendah mencapai 27,3°C. Untuk eksperimen 3:1 dari es basah dan *ice gel* didapatkan temperatur rata-rata sekitar 29,6°C, untuk temperatur tertinggi dan terendah yaitu 32,6 °C dan 25,2 °C. Kemudian eksperimen 2kg es basah : 2kg *ice gel* rata-rata temperatur saat pengujian 29,8 °C, temperatur tertinggi yang dicapai 31,8 °C, dan temperatur terendah 27,8 °C. Selanjutnya kombinasi es basah dengan *ice gel* (1:3) rata-rata temperatur lingkungan 29,2 °C, temperatur tertinggi 32,0 °C dan temperatur terendah 27,1 °C. Terakhir kombinasi 0kg es basah dengan 4kg *ice gel* didapatkan untuk temperatur rata-rata, tertinggi, dan terendah berturut-turut yaitu: 29,7°C; 32,3 °C; dan 26,1 °C.



**Gambar 4.9 Grafik Temperatur Titik A**

Titik A pada masing-masing kombinasi es basah dengan *ice gel*: 4:0; 3:1; 2:2; 1:3; dan 0:4; temperatur terendah yang dapat dicapai berturut-turut: 1,2 °C pada menit ke-120, 1,4 °C pada menit ke-8, 4,5 °C pada menit ke-30, 5,4 °C pada menit ke-80, dan 6,3 °C pada menit ke-230. Temperatur tertinggi yang dicapai berturut-turut: 28,1 °C pada 2660 menit, 27,3 °C pada 2700 menit, 27,7 °C pada 2660 menit, 27,0 °C pada 3200 menit, dan 28,0 °C pada 3640 menit.

Berdasarkan grafik tren dapat diketahui bahwa kombinasi yang dilakukan membentuk tren yang saling berbeda. Pada titik pengamatan A, kombinasi es basah dan *ice gel* 4:0 mampu menurunkan temperatur lebih rendah daripada 4 kombinasi lain. Hal ini disebabkan kuantitas es basah yang banyak memiliki kemampuan penyerapan panas yang besar. Perlu diingat kembali bahwa panas laten dari es



basah lebih besar daripada *ice gel*. Namun seperti pembahasan sebelumnya, es basah tidak mampu mempertahankan temperatur cukup lama dan kenaikan temperatur secara drastis terjadi pada menit ke-990.

Untuk kombinasi 3:1 dari es basah dengan *ice gel* pada pendinginan awal temperatur yang dicapai sedikit lebih tinggi dari temperatur awal kombinasi 4:0. Kuantitas es basah yang berkurang diperkirakan menjadi penyebabnya. Selain itu tren kenaikan temperatur yang terjadi lebih landai daripada kombinasi 4:0. Kemampuan *ice gel* dalam mempertahankan temperatur mampu mengatasi lonjakan kenaikan temperatur akibat pelelehan es basah.

Perbedaan mencolok lainnya adalah terjadi perbedaan capaian temperatur yang cukup signifikan dengan capaian temperatur kombinasi 4:0. Kenaikan temperatur kombinasi 3:1 tidak setinggi pada kombinasi 4:0. Selisih temperatur dimulai pada menit ke-1240 dan puncaknya pada menit 1450-1540 dengan selisih mencapai 2 – 2,1°C. Fenomena tersebut membuktikan bahwa *ice gel* berpengaruh cukup signifikan meskipun hanya  $\frac{1}{4}$  berat kombinasi total media pendingin.

Kombinasi es basah dan *ice gel* (2:2) menunjukkan tren pendinginan awal lebih mendekati kombinasi dengan kuantitas *ice gel* yang lebih besar; yaitu kombinasi 1:3 dan 0:4. Temperatur awal yang dicapai tidak serendah capaian kombinasi 4:0 dan 3:1, tetapi menjadi yang paling rendah diantara kombinasi dengan kuantitas *ice gel* yang besar. Pada capaian temperatur yang lebih tinggi: pada menit ke-1000 lebih, garis kombinasi 2:2 berhimpitan dengan garis dari kombinasi 3:1, dimulai pada menit ke-1000. Untuk kombinasi 1:3 dan 0:4 memiliki pola grafik yang serupa, hanya berbeda di temperatur awal karena adanya kuantitas es basah.

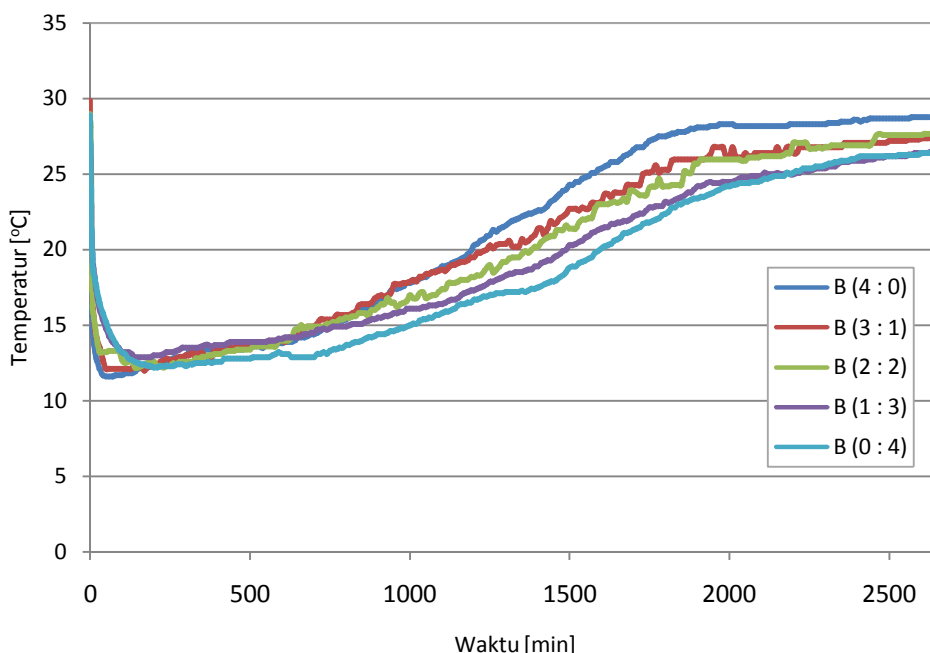
Rata-rata selisih temperatur dari grafik kombinasi 0:4 dan 4:0 dari awal hingga perpotongan garis antar keduanya adalah 4,5°C dimana temperatur kombinasi 4:0 lebih rendah daripada 0:4. Sedangkan rata-rata selisih temperatur dari perpotongan garis hingga ke ujung atau menit ke-2660 adalah 4,6 °C dimana temperatur kombinasi 0:4 lebih rendah daripada 4:0. Meskipun rata-rata selisih temperatur hampir sama namun berbeda dari rentang durasinya. Untuk rata-rata selisih pertama bertahan selama 1040 menit atau 17,6 jam, sedangkan rata-rata selisih kedua dengan durasi 1600 menit atau 26,7 jam.

Durasi yang dicapai masing-masing kombinasi es basah dengan *ice gel*: 4:0; 3:1; 2:2; 1:3; dan 0:4; hingga 20 °C berturut-turut yaitu: 1400 menit, 1530 menit, 1510 menit, 1790 menit dan 1840 menit.

Kombinasi es basah dan *ice gel*: 4:0; 3:1; 2:2; 1:3; dan 0:4 pengukuran titik B pada gambar grafik 4.10 tercatat untuk temperatur terendah berturut-turut: 11,6 °C pada menit ke-50, 12,1 °C pada menit ke-50, 12,2 °C pada menit ke-140, 12,9 °C pada menit ke-140, dan 12,2 °C pada menit ke-200. Temperatur tertinggi yang dicapai berturut-turut: 28,8 °C pada 2660 menit, 27,4 °C pada 2700 menit, 27,9 °C pada 2660 menit, 28,4 °C pada 3200 menit, dan 28,8 °C pada 3640 menit.

Grafik hasil eksperimen pada titik B bertujuan untuk melihat persebaran temperatur secara vertikal. Terlihat bahwa grafik yang dibentuk oleh kombinasi es basah dan *ice gel* (0:4) mencapai temperatur lebih rendah dibandingkan 4 kombinasi lain. Garis grafik yang terbentuk saling berurutan secara vertikal dari

yang paling bawah: pertama, kombinasi 0:4; kedua, kombinasi 1:3; ketiga, kombinasi 2:2; keempat, kombinasi 3:1; terakhir adalah kombinasi 4:0. Grafik tersebut dapat diperkirakan terjadi akibat pengaruh pendinginan dari *ice gel*.



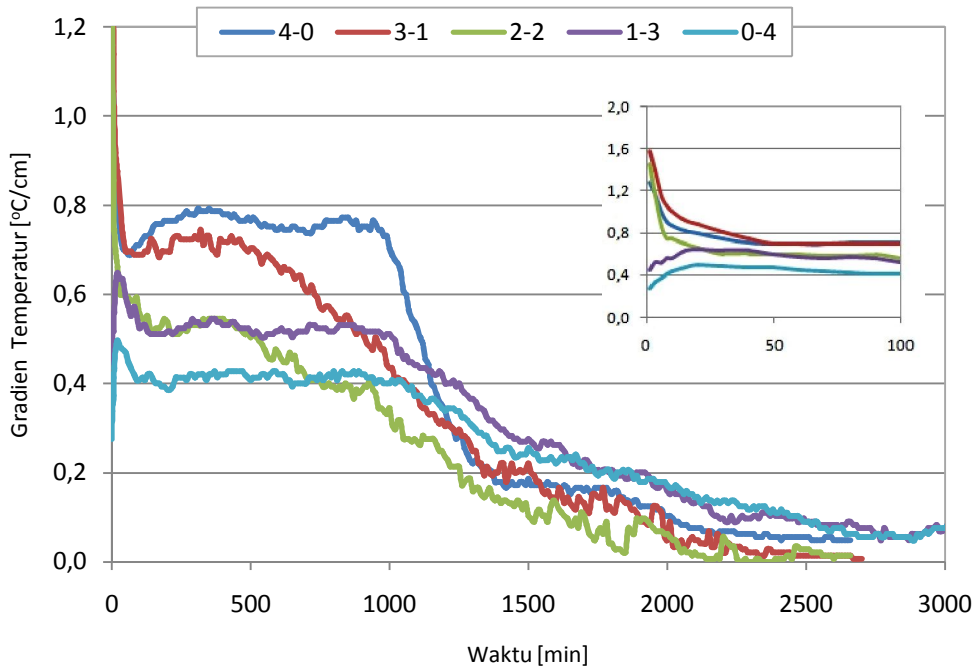
**Gambar 4.10 Grafik Temperatur Titik B**

Pada kombinasi yang terdapat es basah dapat dilihat untuk grafik temperatur awal hingga menit 700-an saling berdempetan. Hal ini karena es basah belum mencair seluruhnya. Ketika es basah telah menjadi air sepenuhnya maka pendinginan diambil alih oleh *ice gel*. Jumlah dari *ice gel* dalam kombinasi menentukan capaian temperatur sehingga pada grafik terlihat garis masing-masing kombinasi mulai berpisah. Kombinasi 0:4 dimana hanya terdapat *ice gel*, pada grafik terlihat bahwa garis grafiknya telah berpisah dan terpisah dari 4 kombinasi lain yang memiliki es basah pada menit 300-an.

Perbedaan temperatur yang terjadi secara vertikal dapat memberikan petunjuk mengenai seberapa cepat pendinginan berlangsung. Pendinginan akan berlangsung cepat apabila gradien temperatur curam atau memiliki perbedaan yang besar. Sebaliknya pendinginan akan berlangsung lambat apabila gradien temperatur landai atau tidak berbeda jauh.

Grafik pada gambar 4.11 dihalaman selanjutnya menunjukkan selisih atau perbedaan temperatur antara titik A dengan titik B untuk masing-masing kombinasi. Dari grafik tersebut dapat diketahui untuk kombinasi es basah dengan *ice gel* (4:0) memiliki gradien temperatur paling curam. Disusul kombinasi 3:1; kombinasi 2:2 dan kombinasi 1:3 saling berhimpitan pada fase stabil; terakhir kombinasi 0:4.

Fase stabil merupakan kondisi dimana grafik pendinginan menunjukkan tren stagnan. Pada grafik gambar 4.11 berada hingga menit ke-600. Gradien rata-rata temperatur dari kombinasi 4:0 pada fase stabil adalah  $0,78^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ . Untuk kombinasi 3:1 sebesar  $0,75^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ , kombinasi 2:2 sebesar  $0,57^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ , kombinasi 1:3 sebesar  $0,53^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ , terakhir kombinasi 0:4 sebesar  $0,42^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ .



**Gambar 4.11 Grafik Selisih Temperatur Titik A dan Titik B**

Pada grafik tersebut juga dapat diketahui pada kombinasi yang terdapat es basah dengan kuantitas yang cukup signifikan, yaitu kombinasi 2:2; 3:1; dan 4:0, menit-menit awal pendinginan gradien temperatur sangat besar atau curam. Pada menit ke-1 gradien untuk kombinasi 2:2; 3:0; dan 4:0 mencapai  $1,46^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ ,  $1,57^{\circ}\text{C}/\text{cm}$  dan  $1,28^{\circ}\text{C}/\text{cm}$  (lihat pada grafik diperbesar) kemudian berangsur-angsur turun dan stabil. Sedangkan pada kombinasi dimana *ice gel* dominan yaitu kombinasi 1:3; dan 0:4 gradien temperatur cukup rendah di awal ( $0,45^{\circ}\text{C}/\text{cm}$  dan  $0,28^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ ) kemudian berangsur-angsur naik dan menjadi stabil.

Garis dan gradien temperatur dari kombinasi dominan es basah akhirnya turun dengan cukup drastis terutama kombinasi 4:0, dan berkumpul bergerak berdekatan setelah menit ke-1200. Hal serupa juga terjadi pada garis dan gradien temperatur dari kombinasi dominan *ice gel* akhirnya turun dengan landai dan berkumpul bergerak berdekatan setelah menit ke-1600.

Dari kombinasi es basah dan *ice gel* tersebut, berdasarkan grafik yang diperoleh durasi yang paling lama mempertahankan temperatur dibawah 20°C adalah kombinasi 4 kg *ice gel* dengan 0kg es basah yaitu: selama 1840 menit atau sekitar lebih dari 30 jam. Namun apabila dicermati perbandingan 2:2 memiliki grafik yang merepresentasikan kedua sifat media pendingin yang dikombinasikan. Temperatur awal yang didapatkan kombinasi 2:2 paling rendah dibandingkan kombinasi dominan *ice gel* yaitu kombinasi 1:3; dan 0:4, serta pada durasi yang lebih lama bertemperatur lebih rendah dari kombinasi 4:0. Secara grafik memang lebih optimal untuk kombinasi es basah 3:1 *ice gel* karena temperatur awal yang dicapai rendah hampir mendekati temperatur kombinasi es basah:*ice gel* untuk 4:0. Selain itu tren setelahnya berhimpit dengan kombinasi 2:2. *Ice gel* dengan kuantitas yang sedikit kurang mampu untuk menurunkan temperatur, sehingga grafik kombinasi 2:2 serta 3:1 berhimpitan.

Tambahan lain untuk pembahasan mengenai grafik tren pendinginan pada kombinasi dominan *ice gel* . Dari hasil eksperimen didapatkan bahwa pada *ice gel* proses pendinginan berlangsung lambat tetapi kenaikan temperaturnya juga berlangsung lambat; sifat tersebut diduga turut dipengaruhi oleh adanya *cover* atau pembungkus produk yang terbuat dari *polypropylene* (PP). Ketebalan dari kemasan plastik ini  $\pm 0,5\text{mm}$  dengan konduktivitas termal yaitu 0,17–0,22 W/m°K. Meskipun tidak terlalu signifikan tetapi dapat diduga bahwa adanya kemasan plastik turut berpengaruh terhadap terbentuknya tren grafik mengingat nilai konduktivitas termal bahan tersebut yang cukup rendah. Dalam penggunaan praktis, kemasan tersebut tidak terlalu menjadi masalah. *Ice gel* menjadi mudah disimpan atau dibawa daripada *ice gel* dalam bentuk lain tanpa kemasan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Sebagai penutup dari penelitian eksperimen ini maka dapat diambil suatu kesimpulan dan saran untuk evaluasi dan pengembangan penelitian mendatang yang terkait dengan topik ini.

#### **5.1. Kesimpulan**

1. Kelipatan berat *ice gel* yang digunakan cukup berpengaruh terhadap pendinginan dibandingkan dengan es basah dengan kelipatan berat yang sama
2. Lama masa simpan *ice gel* dalam *freezer* kurang berpengaruh signifikan terhadap kemampuan pendinginan, terutama panas laten. Pengaruh yang terjadi untuk *ice gel* masa simpan 4 hari hanya pada panas sensibel dan terbatas sampai menit ke-390.
3. Durasi temperatur yang dicapai dalam rentang maksimal 20°C masing-masing kombinasi es basah dengan *ice gel*: 4:0; 3:1; 2:2; 1:3; dan 0:4; berturut-turut yaitu: 1400 menit, 1530 menit, 1510 menit, 1790 menit dan 1840 menit.
4. Es basah mampu menurunkan temperatur dengan cepat tetapi juga mengalami kenaikan temperatur dengan cepat, sedangkan *ice gel* proses pendinginan berlangsung lambat tetapi kenaikan temperaturnya juga berlangsung lambat.
5. Perbandingan optimal dari kombinasi es basah dengan *ice gel* adalah pada perbandingan 3:1, untuk mendapatkan temperatur pendinginan yang rendah dengan waktu pendinginan yang lebih lama.

#### **5.2. Saran**

1. Hasil eksperimen yang dilakukan akan lebih baik dengan menggunakan instrumen pengukuran yang lebih akurat
2. Penghitungan laju pencairan es basah perlu dilakukan agar efek kombinasi *ice gel* terhadap es basah dapat diketahui secara lebih akurat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR PUSTAKA

- Adawyah. 2007. **Pengolahan dan Pengawetan Ikan**. Jakarta: Penerbit Bumi Aksara.
- Afrianto dan Liviawati. 1991. **Pengawetan dan Pengolahan Ikan**. Yogyakarta: Penerbit Kanisius. pp 123.
- ASHRAE.1990. **Handbook: Refrigeration: Systems and Applications, SI Ed.** Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Inc.
- Aziz. 2012. **Desain Sistem Pendingin Ruang Muat Kapal Ikan Tradisional Dengan Memanfaatkan Es Kering**. Surabaya: Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.
- Badan Pusat Statistik. 2011.
- Dossat. 1997. **Principles of Refrigeration: 4<sup>th</sup> Edition**. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- engineeringtoolbox.com . **Freezing Points of Propylene Glycol based Water Solution**. <URL:www.engineeringtoolbox.com/propylene-glycol-d\_363.html>
- Fatima. 2013. **Kajian Penggunaan Ice gel Sebagai Media Pendingin Kemasan Untuk Distribusi Sawi Hijau**. Bogor: Institut Pertanian Bogor
- Graham et al. 1992. **Ice in Fisheries: FAO Fisheries Technical Paper. No. 331**. Aberdeen: Torry Research Station. pp 75.
- Hall. 1997. **Fish Processing Technology: Second edition**. New Delhi: Thomson Press
- Huda. 2003. **Sistem Pendingin Ruang Muat Kapal Ikan Tradisional dengan Menggunakan Campuran Es Kering dan Cold Ice yang Berbahan Dasar Propylene Glycol**. Surabaya: Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.
- Holman. 1994 . **Perpindahan Kalor**. Jakarta:Penerbit Erlangga.
- Idris et al. 2012. Redisain Sistem Pendingin Ruang Palkah dan Air Laut Berbahan Fiber. **Jurnal Ilmiah Mahasiswa. Vol.1. No 1**. pp 140-145. Desember 2012.
- Ilyas. 1983. **Teknologi Refrigerasi Hasil Perikanan: Teknik Pendingin Ikan**. Jakarta: CV. Paripurna.
- INOAC Thai. 2017. **Industrial Products Cool System Cold Gel Pack** <URL:www.inoacthai.co.th/index.php?p=industrial\_products\_cool\_system\_cold\_gel\_pack>
- Kementerian Kelautan dan Perikanan RI. Materi Penyuluhan KKP. 2011.
- Manurung et al. 2008. **Buku Teknologi Pengolahan Hasil Laut**. Medan: Kerjasama EU-Vest dengan Universitas HKBP Nommensen Medan & Aalborg University Denmark.
- Material Safety Data Sheet: Soft Gel Cold Pack. Medichill. Januari 2016. <URL:medichill.com>
- Mesalabs. 2010. **Five Questions You Must Answer to Choose The Ideal PCM**. <URL: www.temptrust.mesalabs.com>



- Martinez. 2017. **Properties of Some Particular Solutions.**
- Myers. 1981. Fresh Fish Handling. **Planning and Engineering Data.** Rome: FAO Fish. Circ. (735). pp 64.
- Norkool. 1996. **A Comparison of Ethylene Glycol and Propylene Glycol Heat Transfer Fluids.** Danbury: Union carbide.
- Nurkusumaprama. 2014. Aplikasi *Ice gel* pada Kemasan untuk Transportasi dan Penyimpanan Sementara Jamur Tiram (*Pleurotus Ostreatus*). **Jurnal Keteknikan Pertanian Vol.2. No.2.** Oktober 2014. pp.141-148.
- Oró et al. 2012. Review on Phase Change Materials (PCMs) for Cold Thermal Energy Storage Applications. **Applied Energy 99** (2012). pp 513–533.
- PMC. COFISH Project. **Teknik Penanganan Ikan Basah-Segar di Kapal, PPI dan Tempat Pengolahan.** Fisheries Post Harvest Specialist.
- Semin et al. 2011. Effect of Dry Ice Application in Fish Hold of Fishing Boat on the Fish Quality and Fisherman Income. **American Journal of Applied Sciences.**8(12). pp.1263-1267
- Shawyer dan Pizzali. 2003. **The Use Of Ice on Small Fishing Vessels.** Rome: Food and Agriculture Organization of The United Nations
- The Dow Chemical Company. 2003. A Guide to Glycols.
- Ufie et al. 2011. Kaji Eksperimental Pola Pendinginan Ikan dengan Es pada Cold Box. **Jurnal Teknologi. Vol.8 No.1.** pp.883 - 888. 2011.
- Yusuf et al. 2013, Kajian Sistem Penyimpan Ikan Sementara pada Tempat Pendaratan Ikan (TPI). **Jurnal Teknik Mesin Unsyiah, Vol.1, No.4.** Desember 2013.

## LAMPIRAN



*Coolbox tampak atas*



*Coolbox tampak depan*



*Timbangan*



*Dami Ikan*



*Ice Gel*



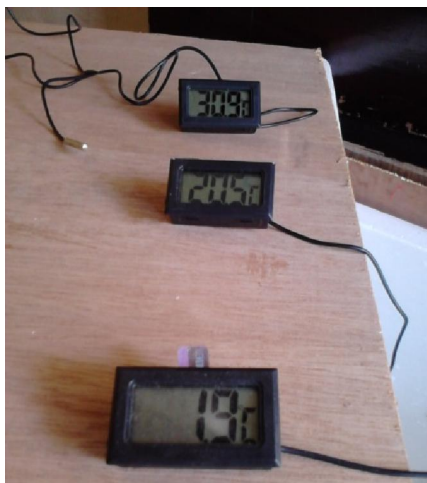
*Termometer Digital*



*Kalibrasi Termometer*



*Eksperimen Sekunder*



*Eksperimen Primer*



*Peletakan Probe*



*Eksperimen Primer*



*Eksperimen Sekunder*

*Eksperimen Pengaruh Waktu Simpan Ice Gel*

	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari
t	T	T	T	T
0	29,9	29,9	31,0	31,0
0,5	28,5	27,3	28,7	27,7
1	27,2	25,6	27,3	26,6
3	24,1	22,1	22,3	18,3
6	19,7	17,8	18,5	15,0
8	18,5	16,9	18,0	14,1
10	18,2	16,7	17,8	14,0
15	18,0	16,5	17,8	14,4
20	18,1	16,8	17,9	14,5
30	18,1	17,0	18,0	15,1
40	18,4	17,3	18,2	15,6
50	18,5	17,5	18,3	15,9
60	18,5	17,7	18,5	16,7
70	18,6	17,7	18,6	16,6
80	18,8	18,0	18,6	17,1
90	18,8	18,0	18,7	17,1
100	18,9	18,1	18,7	17,8
110	19,1	18,2	18,7	17,4
120	19,2	18,4	18,9	17,8
130	19,5	18,7	19,0	18,0
140	19,5	18,8	19,3	18,2
150	19,7	18,9	19,6	18,5
160	19,8	19,0	19,6	18,6
170	19,9	19,0	19,7	18,6
180	20,1	19,1	19,8	18,8
190	19,9	19,1	19,8	18,9
200	20,1	19,2	19,9	19,0
210	20,3	19,4	20,1	19,1
220	20,6	19,8	20,2	19,3
230	20,6	19,8	20,2	19,4
240	20,8	20,0	20,3	19,4
250	20,8	20,0	20,7	19,8

	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari
t	T	T	T	T
260	21,1	20,1	20,8	19,9
270	21,2	20,2	20,9	20,0
280	21,4	20,5	21,0	20,2
290	21,5	20,6	21,0	20,2
300	21,5	20,6	21,0	20,3
310	21,8	20,8	21,1	20,4
320	21,8	20,9	21,3	20,4
330	21,9	21,0	21,5	20,4
340	21,9	21,1	21,7	21,2
350	22,4	21,5	21,9	21,2
360	22,5	21,5	22,4	21,5
370	23,1	22,0	22,5	21,6
380	23,2	22,1	22,5	21,7
390	23,3	22,2	22,6	22,0
400	23,4	22,3	22,7	22,5
410	23,4	22,4	22,7	22,5
420	23,5	22,5	22,8	22,8
430	23,6	22,6	22,8	22,7
440	23,8	22,7	23,0	22,8
450	23,8	22,9	23,2	22,8
460	23,8	22,9	23,2	22,8
470	23,8	22,9	23,3	22,8
480	23,8	22,9	23,4	23,1
490	23,9	23,0	23,4	23,1
500	24,0	23,1	23,5	23,1
510	24,2	23,2	23,7	23,2
520	24,3	23,3	23,8	23,3
530	24,3	23,5	23,9	23,5
540	24,2	23,3	24,0	23,9
550	24,3	23,4	24,0	24,0
560	24,3	23,4	24,1	24,1
570	24,4	23,5	24,3	24,3

	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari
t	T	T	T	T
580	24,5	23,6	24,4	24,3
590	24,6	23,7	24,6	24,3
600	24,8	23,9	24,7	24,3
610	24,8	23,9	24,9	24,3
620	24,9	24,0	25,0	24,8
630	25,1	24,1	25,1	24,8
640	25,2	24,3	25,3	25,1
650	25,3	24,5	25,6	25,1
660	25,4	24,6	25,6	25,3
670	25,5	24,7	25,8	25,3
680	25,8	24,9	26,0	25,3
690	25,8	25,0	26,1	25,7

	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari
t	T	T	T	T
700	26,0	25,1	26,3	25,7
710	26,3	25,4	26,6	26,2
720	26,4	25,6	26,8	26,4
730	26,5	25,7	27,0	26,7
740	26,8	26,0	27,1	26,7
750	27,2	26,2	27,3	27,0
760	27,4	26,5	27,6	27,0
770	27,5	26,7	27,8	27,0
780	27,6	26,9	28,0	27,4
790	27,8	27,0	28,0	27,6
800	27,9	27,1	28,2	28,0

*Eksperimen Perbandingan Es basah – Ice Gel Tanpa Pembebanan*

	PG			
	0,5	1	1,5	2
t	T	T	T	T
0	27,8	27,5	27,5	27,9
15	17,4	9,8	7,2	5,1
20	17,3	9,9	7,2	5,2
30	17,4	9,9	7,2	5,3
40	17,4	10	7,1	5,2
50	17,5	10,1	7,1	5
60	17,6	10,1	7,2	5
70	17,7	10,2	7,2	4,8
80	17,9	10,4	7,4	4,9
90	17,9	10,5	7,4	5
100	18	10,6	7,4	5
110	18,2	10,7	7,4	5
120	18,3	10,7	7,4	5,2
130	18,4	10,7	7,4	5,1
140	18,6	10,8	7,4	5,2

	PG			
	0,5	1	1,5	2
t	T	T	T	T
150	18,7	10,9	7,5	5,3
160	19,4	11,1	7,5	5,1
170	19,4	11,2	7,5	5,1
180	19,3	11,4	7,6	5,1
190	19,4	11,5	7,6	5,1
200	20	11,5	7,6	5,2
210	20,1	11,5	7,7	5,2
220	20,3	11,6	7,7	5,6
230	20,5	11,6	7,8	5,3
240	20,6	11,8	7,9	5,5
250	20,9	11,8	8	5,6
260	20,9	11,9	8,1	5,5
270	21,1	11,9	8,2	5,7
280	21	11,9	8,2	5,5
290	21,2	12	8,3	5,7

	0,5	1	1,5	2
t	T	T	T	T
300	21,3	12	8,5	5,8
310	21,5	12,2	8,6	5,9
320	21,6	12,2	8,8	5,9
330	22	12,3	8,8	5,9
340	21,9	12,4	9	6
350	21,9	12,6	9,2	5,9
360	21,9	12,7	9,4	6,1
370	22	12,8	9,5	6,2
380	22,1	12,8	9,6	6,2
390	22,1	12,9	9,7	6,2
400	22,2	13	9,9	6,6
410	22,2	13,2	10,1	6,6
420	22,2	13,2	10,2	6,6
430	22,3	13,4	10,3	6,6
440	22,4	13,8	10,4	6,5
450	22,4	14,2	10,5	6,5
460	22,5	14,3	10,7	6,3
470	22,7	14,4	10,9	6,5
480	22,8	14,5	10,9	6,6
490	22,9	14,6	11	6,9
500	23	14,8	11,1	7,1
510	23,1	14,9	11,3	7,2
520	23,3	15	11,5	7,3
530	23,4	15,2	11,7	7,1
540	23,5	15,4	11,9	7,3
550	23,7	15,6	12	7,1
560	23,9	15,7	12,1	7,2
570	24	15,9	12,3	7,1
580	24,1	16	12,5	7,2
590	24,1	16,2	12,7	7,3
600	24,3	16,4	12,9	7,2
610	24,4	16,5	13,1	7,2
620	24,5	16,7	13,3	7,2

	0,5	1	1,5	2
t	T	T	T	T
630	24,6	16,9	13,4	7,2
640	24,9	17,2	13,2	7,5
650	25,1	17,4	13,9	7,6
660	25,1	17,5	14,1	7,8
670	25,3	17,6	14,3	7,8
680	25,5	17,8	14,6	7,9
690	25,6	18	14,9	7,9
700		18,2	15,1	8
710		18,3	15,3	8,3
720		18,4	15,6	8,3
730		18,6	15,9	8,3
740		18,8	16,1	8,3
750		19	16,3	8,5
760		19,2	16,5	8,4
770		19,3	16,8	8,5
780		19,8	17	8,6
790		20,1	17,2	8,6
800		20,3	17,4	9
810		20,5	17,6	9
820		20,6	17,9	9
830		20,9	18,1	9,2
840		21	18,4	9,5
850		21,2	18,6	9,3
860		21,5	18,9	9,6
870		21,7	19,1	9,6
880		21,8	19,3	9,7
890		21,9	19,6	9,8
900		22	19,9	9,9
910		22,2	20,1	10
920		22,2	20,3	10,4
930		22,4	20,6	10,2
940		22,8	20,9	10,5
950		23,2	21	10,6

	0,5	1	1,5	2
t	T	T	T	T
960		23,7	21,3	10,8
970		23,8	21,6	10,7
980		23,9	21,9	10,8
990		24,1	22,1	11,2
1000		24,2	22,3	11,5
1010		24,4	22,3	11,8
1020		24,5	22,5	11,7
1030		24,9	22,6	12
1040		25,2	22,8	12,3
1050			22,9	12,5
1060			23	12,7
1070			23,2	12,6
1080			23,3	12,8
1090			23,5	12,9
1100			23,7	13
1110			23,8	13,3
1120			23,9	13,4
1130			24	13,8
1140			24,3	13,9
1150			24,3	14,2
1160			24,5	14,5
1170			24,7	14,7
1180			24,9	14,9
1190			25,1	15,1
1200			25,2	15,4
1210			25,5	15,9
1220			25,5	16,1
1230			25,5	16,2
1240			25,5	16,4
1250			25,6	16,9
1260			25,8	16,9
1270			25,8	17,3
1280			25,9	17,4
1290			25,9	17,8

	0,5	1	1,5	2
t	T	T	T	T
1300			26	17,8
1310			26,2	18,3
1320			26,3	18,5
1330			26,3	18,7
1340			26,4	18,9
1350			26,5	19,1
1360			26,8	19,4
1370				19,7
1380				20
1390				20,1
1400				20,1
1410				20,4
1420				20,9
1430				21,3
1440				21,3
1450				21,5
1460				21,7
1470				21,8
1480				22
1490				22,2
1500				22,7
1510				23,1
1520				23,3
1530				23,3
1540				23,5
1550				23,6
1560				23,8
1570				23,9
1580				24
1590				24,2
1600				24,3
1610				24,5
1620				24,7
1630				24,8

	ES			
	0,5	1	1,5	2
t	T	T	T	T
0	27,8	27,5	27,5	27,9
15	17,9	9,9	9,2	8,8
20	18	10,1	9,3	8,8
30	18,2	10,2	9,4	9
40	18,3	10,4	9,5	9,1
50	18,3	10,5	9,3	8,2
60	18,4	10,6	9,4	8,6
70	18,5	10,7	9,3	8,8
80	18,6	10,9	9,5	8,8
90	18,7	11	9,7	8,8
100	18,7	11,1	9,7	8,8
110	18,9	11,1	9,5	8,8
120	19	11,2	9,5	8,9
130	19	11,2	9,6	8,9
140	19,1	11,4	9,7	8,6
150	19,1	11,5	9,8	8,6
160	20	11,7	10	8,6
170	19,6	11,8	9,8	8,6
180	19,5	12,1	9,9	9
190	19,6	12,2	10	9
200	20,2	12,2	9,9	9,2
210	20,3	12,1	10	9,2
220	20,6	12,1	10,1	9,1
230	20,7	12,3	10,1	9,7
240	20,7	12,4	10,1	9,6
250	20,9	12,4	10,1	9,5
260	21	12,6	10,1	9,8
270	21	12,7	10,2	9,6
280	21,1	12,7	10,2	9,9
290	20,9	12,8	10,2	9,9
300	21,1	12,8	10,2	10
310	21,3	12,9	11	10,1
320	21,4	13	11	10,5

	ES			
	0,5	1	1,5	2
t	T	T	T	T
330	21,6	13,1	11,8	10,7
340	21,3	13,1	11,8	10,8
350	21,4	13,4	11,7	10,7
360	21,6	13,6	11,8	10,9
370	21,6	13,7	11,8	10,8
380	21,6	13,7	11,8	10,7
390	21,6	13,9	11,8	10,8
400	21,7	14,1	11,8	10,8
410	21,7	14,2	12,1	10,9
420	21,6	14,2	12,1	11
430	21,6	14,3	12	11
440	21,7	14,6	12,1	11,2
450	21,8	14,7	12,2	11,2
460	21,9	14,8	12,5	11,2
470	22	15	12,6	11,5
480	22	15,1	12,6	11,5
490	22,2	15,3	12,8	11,6
500	22,6	15,6	12,9	12,5
510	22,7	15,7	13	12,6
520	23,1	15,9	13,1	12,6
530	23,7	16	13,3	12,6
540	24	16,2	13,3	12,7
550	24,3	16,4	13,4	12,7
560	24,7	16,6	13,5	12,8
570	25,1	16,7	13,5	12,8
580	25,4	16,9	13,6	12,9
590	25,8	17	13,8	12,9
600	26,1	17,2	14	13,2
610	26,3	17,4	14,3	13,1
620	26,6	17,6	14,3	13,5
630	26,7	17,7	14,6	13,8
640	27	18,1	14,7	14,6
650	27,1	18,3	14,9	14,6



	0,5	1	1,5	2
t	T	T	T	T
660	27,4	18,6	15	14,7
670	27,5	18,7	15,2	15
680	27,8	19	15,3	15,1
690	28,1	19	15,5	15,1
700		19,1	15,2	15,2
710		19,2	15,9	15,4
720		19,4	16	15,4
730		19,6	15,9	15,3
740		19,7	16,4	15,5
750		19,8	16,4	15,6
760		20,1	16,5	15,7
770		20,6	16,6	15,6
780		20,7	17	15,7
790		20,9	17,2	15,9
800		21	17,2	16
810		21,2	17,1	16,4
820		21,4	17,1	16,5
830		21,6	17,1	16,4
840		21,7	17,8	16,6
850		22,1	17,8	16,9
860		22,3	17,8	16,9
870		22,6	17,9	16,9
880		22,7	18	17,1
890		23	18,2	17,3
900		23	18,2	17,2
910		23,5	18,6	17,5
920		23,7	18,5	17,6
930		24	18,8	17,8
940		24,3	18,7	17,9
950		24,8	18,9	18,2
960		24,9	18,8	18,1
970		25,3	18,9	18,5
980		25,5	19	18,9
990			19	19,6

	0,5	1	1,5	2
t	T	T	T	T
1000			19,2	19,6
1010			19,2	19,9
1020			19,2	20
1030			19,7	20,1
1040			20,1	20,3
1050			20,2	20,5
1060			20,2	20,4
1070			20,7	20,8
1080			20,9	20,9
1090			21	21,1
1100			21,3	21,2
1110			21,3	21,5
1120			21,5	21,6
1130			21,9	21,9
1140			22,1	22
1150			22,3	22,3
1160			22,3	22,7
1170			22,8	22,9
1180			22,9	23
1190			23	23,6
1200			23	23,6
1210			23	23,9
1220			23	24,4
1230			23	24,4
1240			23,9	24,7
1250			24,1	24,6
1260			24,2	24,7
1270			24,4	24,5
1280			24,4	24,4
1290			24,6	24,9
1300			24,7	25
1310			24,8	25,2
1320			24,8	25,3
1330			24,9	25,2

	0,5	1	1,5	2
t	T	T	T	T
1340			24,9	25,7
1350			25,2	25,8
1360			25,5	25,9
1370				26
1380				26,1
1390				26,1
1400				26,3
1410				26,3
1420				26,4

	0,5	1	1,5	2
t	T	T	T	T
1430				26,7
1440				26,7
1450				26,7
1460				27,3
1470				27,3
1480				27,1
1490				27,5
1500				28

*Eksperimen Kombinasi Es Basah – Ice Gel*

4 : 0				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
0	29,0	29,0	29,0	0
1	6,8	25,3	28,9	1,28
3	2,1	19,0	29,1	1,17
6	1,8	16,2	29,2	0,99
8	1,7	14,9	29,4	0,91
10	1,6	14,2	29,3	0,87
15	1,5	13,3	29,3	0,81
20	1,3	12,8	29,4	0,79
30	1,4	12,1	29,6	0,74
40	1,5	11,7	29,6	0,70
50	1,5	11,6	29,9	0,70
60	1,6	11,6	29,9	0,69
70	1,6	11,6	29,9	0,69
80	1,5	11,7	30,0	0,70
90	1,4	11,7	30,1	0,71
100	1,4	11,7	30,1	0,71
110	1,3	11,8	30,1	0,72
120	1,2	11,8	30,3	0,73
130	1,2	11,8	30,3	0,73
140	1,2	11,9	30,4	0,74

4 : 0				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
150	1,2	12,1	30,5	0,75
160	1,2	12,2	30,7	0,76
170	1,2	12,2	30,8	0,76
180	1,2	12,2	30,9	0,76
190	1,2	12,3	30,8	0,77
200	1,3	12,4	31,2	0,77
210	1,3	12,4	31,2	0,77
220	1,3	12,4	31,3	0,77
230	1,4	12,5	31,5	0,77
240	1,4	12,6	31,5	0,77
250	1,5	12,7	31,6	0,77
260	1,5	12,8	31,6	0,78
270	1,5	12,9	31,9	0,79
280	1,6	12,9	32,0	0,78
290	1,6	12,9	31,9	0,78
300	1,7	13,0	32,2	0,78
310	1,7	13,2	32,4	0,79
320	1,8	13,2	32,3	0,79
330	1,8	13,2	32,1	0,79
340	1,9	13,3	32,2	0,79

4 : 0				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
350	1,9	13,4	32,4	0,79
360	2,0	13,4	32,4	0,79
370	2,0	13,4	32,4	0,79
380	2,0	13,4	32,3	0,79
390	2,0	13,4	32,1	0,79
400	2,1	13,4	31,9	0,78
410	2,1	13,4	31,7	0,78
420	2,1	13,4	31,5	0,78
430	2,2	13,4	31,4	0,77
440	2,2	13,5	31,1	0,78
450	2,2	13,4	30,8	0,77
460	2,3	13,4	30,7	0,77
470	2,3	13,4	30,7	0,77
480	2,3	13,4	30,7	0,77
490	2,3	13,5	30,8	0,77
500	2,4	13,5	30,8	0,77
510	2,4	13,6	30,8	0,77
520	2,5	13,6	30,5	0,77
530	2,6	13,6	30,4	0,76
540	2,6	13,5	30,4	0,75
550	2,7	13,7	30,2	0,76
560	2,8	13,7	30,1	0,75
570	2,9	13,8	30,3	0,75
580	2,9	13,8	30,1	0,75
590	3,0	13,8	30,0	0,74
600	3,0	13,8	29,9	0,74
610	3,0	13,9	29,9	0,75
620	3,1	13,9	29,9	0,74
630	3,1	13,9	29,9	0,74
640	3,2	14,0	29,9	0,74
650	3,3	14,2	29,8	0,75
660	3,3	14,2	29,8	0,75
670	3,4	14,2	29,8	0,74
680	3,5	14,3	29,8	0,74

4 : 0				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
690	3,6	14,4	29,6	0,74
700	3,7	14,4	29,7	0,74
710	3,8	14,5	29,7	0,74
720	3,9	14,6	29,7	0,74
730	3,9	14,8	29,6	0,75
740	4,0	14,9	29,6	0,75
750	4,0	14,9	29,5	0,75
760	4,1	15,0	29,6	0,75
770	4,1	15,2	29,4	0,77
780	4,2	15,3	29,5	0,77
790	4,2	15,3	29,4	0,77
800	4,3	15,4	29,3	0,77
810	4,4	15,5	29,4	0,77
820	4,5	15,6	29,6	0,77
830	4,6	15,8	29,5	0,77
840	4,7	15,9	29,6	0,77
850	4,8	16,0	29,5	0,77
860	5,0	16,1	29,4	0,77
870	5,2	16,2	29,4	0,76
880	5,3	16,4	29,4	0,77
890	5,6	16,4	29,3	0,74
900	5,6	16,5	29,3	0,75
910	5,7	16,6	29,4	0,75
920	5,9	16,8	29,3	0,75
930	6,1	16,9	29,3	0,74
940	6,2	17,3	29,2	0,77
950	6,4	17,4	29,1	0,76
960	6,6	17,4	29,1	0,74
970	6,7	17,5	29,0	0,74
980	7,0	17,6	29,0	0,73
990	7,2	17,8	29,0	0,73
1000	7,6	17,8	28,9	0,70
1010	7,9	17,9	28,9	0,69
1020	8,2	18,0	29,0	0,68

4 : 0				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
1030	8,4	18,1	28,9	0,67
1040	8,7	18,2	28,9	0,66
1050	9,4	18,2	29,0	0,61
1060	9,7	18,4	28,8	0,60
1070	10,3	18,5	29,0	0,57
1080	10,7	18,6	28,9	0,54
1090	10,9	18,7	28,6	0,54
1100	11,3	18,9	28,7	0,52
1110	11,6	18,9	28,8	0,50
1120	11,9	19,0	28,7	0,49
1130	12,5	19,1	28,6	0,46
1140	12,8	19,2	28,6	0,44
1150	13,5	19,3	28,7	0,40
1160	13,7	19,4	28,4	0,39
1170	14,1	19,5	28,3	0,37
1180	14,5	19,7	28,2	0,36
1190	14,8	19,9	28,1	0,35
1200	15,4	20,3	28,0	0,34
1210	15,8	20,4	28,4	0,32
1220	16,2	20,6	28,7	0,30
1230	16,4	20,7	28,7	0,30
1240	16,9	20,9	28,5	0,28
1250	16,9	21,0	28,5	0,28
1260	17,2	21,3	28,5	0,28
1270	17,5	21,2	28,5	0,26
1280	17,9	21,4	28,5	0,24
1290	18,2	21,5	28,4	0,23
1300	18,4	21,6	28,4	0,22
1310	18,5	21,8	28,4	0,23
1320	18,7	21,9	28,5	0,22
1330	18,9	22,0	28,0	0,21
1340	19,0	22,1	27,9	0,21
1350	19,2	22,2	27,7	0,21

4 : 0				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
1360	19,3	22,3	27,5	0,21
1370	19,5	22,4	27,6	0,20
1380	19,8	22,4	27,4	0,18
1390	19,9	22,5	27,3	0,18
1400	20,0	22,6	27,4	0,18
1410	20,1	22,6	27,5	0,17
1420	20,3	22,7	27,8	0,17
1430	20,4	22,9	28,0	0,17
1440	20,6	23,2	28,3	0,18
1450	20,8	23,3	28,5	0,17
1460	21,0	23,5	28,7	0,17
1470	21,1	23,7	28,7	0,18
1480	21,3	23,9	28,8	0,18
1490	21,5	24,0	28,9	0,17
1500	21,6	24,3	29,0	0,19
1510	21,8	24,3	29,2	0,17
1520	22,0	24,5	29,4	0,17
1530	22,0	24,5	29,7	0,17
1540	22,2	24,7	29,9	0,17
1550	22,3	24,8	29,9	0,17
1560	22,4	24,9	30,1	0,17
1570	22,5	25,1	30,1	0,18
1580	22,6	25,1	30,3	0,17
1590	22,8	25,3	30,4	0,17
1600	22,9	25,4	30,7	0,17
1610	23,1	25,5	30,6	0,17
1620	23,2	25,6	30,7	0,17
1630	23,3	25,8	30,7	0,17
1640	23,4	25,8	30,8	0,17
1650	23,6	25,8	31,0	0,15
1660	23,7	26,0	31,0	0,16
1670	23,8	26,2	31,2	0,17
1680	23,9	26,3	31,3	0,17

4 : 0				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
1690	24,0	26,4	31,6	0,17
1700	24,3	26,6	31,5	0,16
1710	24,4	26,8	31,8	0,17
1720	24,5	26,8	31,9	0,16
1730	24,6	26,8	32,0	0,15
1740	24,6	27,0	31,9	0,17
1750	24,8	27,2	32,1	0,17
1760	24,9	27,3	32,2	0,17
1770	25,0	27,4	32,0	0,17
1780	25,1	27,5	31,8	0,17
1790	25,2	27,5	31,8	0,16
1800	25,3	27,5	31,9	0,15
1810	25,3	27,6	32,0	0,16
1820	25,4	27,7	31,5	0,16
1830	25,6	27,7	31,4	0,14
1840	25,7	27,8	31,4	0,14
1850	25,8	27,8	31,2	0,14
1860	25,8	27,8	31,4	0,14
1870	26,0	27,9	31,4	0,13
1880	26,0	28,0	31,3	0,14
1890	26,0	28,0	31,1	0,14
1900	26,3	28,1	31,1	0,12
1910	26,3	28,1	31,0	0,12
1920	26,3	28,1	30,9	0,12
1930	26,3	28,1	30,8	0,12
1940	26,4	28,2	30,6	0,12
1950	26,4	28,2	30,7	0,12
1960	26,5	28,2	30,4	0,12
1970	26,6	28,3	30,4	0,12
1980	26,6	28,3	30,3	0,12
1990	26,8	28,3	30,1	0,10
2000	26,8	28,3	30,1	0,10
2010	26,8	28,3	29,8	0,10

4 : 0				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
2020	26,8	28,2	29,7	0,10
2030	26,9	28,2	29,4	0,09
2040	26,9	28,2	29,5	0,09
2050	27,0	28,2	29,5	0,08
2060	27,0	28,2	29,5	0,08
2070	27,0	28,2	29,3	0,08
2080	27,1	28,2	29,5	0,08
2090	27,1	28,2	29,8	0,08
2100	27,1	28,2	29,4	0,08
2110	27,1	28,2	29,4	0,08
2120	27,1	28,2	29,3	0,08
2130	27,2	28,2	29,3	0,07
2140	27,2	28,2	29,1	0,07
2150	27,2	28,2	29,1	0,07
2160	27,2	28,2	29,1	0,07
2170	27,3	28,2	29,1	0,06
2180	27,3	28,2	29,2	0,06
2190	27,3	28,3	29,1	0,07
2200	27,3	28,3	29,1	0,07
2210	27,3	28,3	29,0	0,07
2220	27,3	28,3	29,0	0,07
2230	27,3	28,3	29,0	0,07
2240	27,3	28,3	28,9	0,07
2250	27,4	28,3	28,9	0,06
2260	27,4	28,3	28,9	0,06
2270	27,4	28,3	28,8	0,06
2280	27,4	28,3	28,9	0,06
2290	27,4	28,3	29,0	0,06
2300	27,4	28,3	29,4	0,06
2310	27,5	28,4	29,5	0,06
2320	27,6	28,4	29,6	0,06
2330	27,6	28,4	29,7	0,06
2340	27,6	28,4	29,3	0,06

4 : 0				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
2350	27,6	28,5	29,6	0,06
2360	27,6	28,5	29,7	0,06
2370	27,7	28,5	29,7	0,06
2380	27,7	28,5	29,6	0,06
2390	27,8	28,6	29,7	0,06
2400	27,8	28,6	29,7	0,06
2410	27,8	28,5	29,8	0,05
2420	27,8	28,6	29,7	0,06
2430	27,8	28,6	29,8	0,06
2440	27,9	28,7	29,7	0,06
2450	27,9	28,7	29,6	0,06
2460	27,9	28,7	29,7	0,06
2470	27,9	28,7	29,7	0,06
2480	27,9	28,7	29,6	0,06
2490	27,9	28,7	29,6	0,06
2500	27,9	28,7	29,6	0,06

4 : 0				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
2510	27,9	28,7	29,6	0,06
2520	28,0	28,7	29,6	0,05
2530	28,0	28,7	29,5	0,05
2540	28,0	28,7	29,5	0,05
2550	28,0	28,7	29,5	0,05
2560	28,0	28,7	29,5	0,05
2570	28,0	28,8	29,4	0,06
2580	28,0	28,8	29,4	0,06
2590	28,0	28,8	29,3	0,06
2600	28,1	28,8	29,3	0,05
2610	28,1	28,8	29,4	0,05
2620	28,1	28,8	29,2	0,05
2630	28,1	28,8	29,3	0,05
2640	28,1	28,8	29,3	0,05
2650	28,1	28,8	29,2	0,05
2660	28,1	28,8	29,2	0,05

3 : 1				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
0	29,9	29,9	29,9	0
1	3,2	26,0	29,5	1,57
3	1,8	22,0	29,5	1,39
6	1,7	18,2	29,5	1,14
8	1,4	16,7	29,5	1,06
10	1,4	15,9	29,3	1,00
15	1,4	14,7	29,5	0,92
20	1,5	14,2	29,5	0,88
30	1,8	13,5	29,9	0,81
40	2,0	12,7	30,0	0,74
50	2,0	12,1	29,9	0,70
60	2,0	12,1	30,2	0,70
70	2,0	12,1	30,4	0,70
80	2,1	12,1	30,6	0,69

3 : 1				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
90	2,1	12,1	30,6	0,69
100	2,1	12,1	31,0	0,69
110	2,1	12,1	31,0	0,69
120	2,0	12,1	30,6	0,70
130	2,0	12,1	30,5	0,70
140	2,0	12,5	31,2	0,72
150	2,0	12,4	31,2	0,72
160	2,1	12,3	31,6	0,70
170	2,1	12,0	31,0	0,68
180	2,1	12,2	31,5	0,70
190	2,2	12,3	31,5	0,70
200	2,2	12,3	31,5	0,70
210	2,2	12,3	32,1	0,70
220	2,1	12,6	31,9	0,72

3 : 1				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
230	2,1	12,7	31,9	0,73
240	2,2	12,8	31,9	0,73
250	2,2	12,7	31,9	0,72
260	2,2	12,7	31,9	0,72
270	2,3	12,8	32,3	0,72
280	2,4	12,9	32,3	0,72
290	2,4	12,9	32,4	0,72
300	2,4	13,0	32,0	0,73
310	2,5	13,0	32,6	0,72
320	2,5	13,3	32,3	0,74
330	2,6	12,9	32,3	0,71
340	2,6	13,2	31,9	0,73
350	2,6	13,2	31,9	0,73
360	2,7	12,9	31,5	0,70
370	2,8	12,9	31,5	0,70
380	2,9	12,9	31,5	0,69
390	2,9	13,4	32,1	0,72
400	3,0	13,4	32,1	0,72
410	3,0	13,4	31,5	0,72
420	3,0	13,4	31,5	0,72
430	3,0	13,6	31,5	0,73
440	3,1	13,5	31,0	0,72
450	3,1	13,5	31,0	0,72
460	3,1	13,6	31,2	0,72
470	3,3	13,6	31,2	0,71
480	3,4	13,6	31,2	0,70
490	3,5	13,6	31,2	0,70
500	3,6	13,8	31,5	0,70
510	3,6	13,8	31,5	0,70
520	3,7	13,8	31,5	0,70
530	3,8	13,8	30,6	0,69
540	3,9	13,6	30,6	0,67
550	4,0	13,9	30,2	0,68

3 : 1				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
560	4,0	14,0	30,2	0,69
570	4,1	14,0	30,2	0,68
580	4,2	14,0	30,2	0,68
590	4,3	14,0	29,7	0,67
600	4,4	14,0	29,7	0,66
610	4,5	13,9	29,7	0,65
620	4,6	14,2	29,7	0,66
630	4,7	14,2	29,7	0,66
640	4,9	14,4	29,7	0,66
650	5,0	14,4	29,7	0,65
660	5,2	14,4	29,7	0,63
670	5,4	14,7	29,8	0,64
680	5,6	14,9	29,8	0,64
690	5,9	14,9	29,4	0,62
700	6,1	14,9	29,7	0,61
710	6,3	15,1	29,4	0,61
720	6,4	15,4	29,4	0,62
730	6,7	15,4	29,4	0,60
740	6,8	15,4	29,1	0,59
750	7,1	15,4	29,1	0,57
760	7,2	15,4	29,3	0,57
770	7,4	15,7	29,1	0,57
780	7,4	15,7	28,5	0,57
790	7,5	15,7	28,5	0,57
800	7,6	15,7	27,9	0,56
810	7,8	15,7	27,9	0,54
820	7,9	15,8	29,3	0,54
830	8,1	15,9	29,1	0,54
840	8,3	16,3	29,1	0,55
850	8,4	16,4	29,1	0,55
860	8,6	16,4	29,1	0,54
870	8,8	16,4	29,1	0,52
880	9,1	16,5	29,1	0,51

3 : 1				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
890	9,3	16,8	29,1	0,52
900	9,4	16,9	29,1	0,52
910	9,7	17,0	29,5	0,50
920	9,8	16,9	29,1	0,49
930	10,0	17,0	29,1	0,48
940	10,2	17,1	29,1	0,48
950	10,4	17,7	29,1	0,50
960	10,6	17,7	29,1	0,49
970	10,8	17,7	29,1	0,48
980	10,9	17,8	29,0	0,48
990	11,4	17,8	28,9	0,44
1000	11,6	17,9	28,9	0,43
1010	11,7	18,0	28,9	0,43
1020	12,0	17,9	28,4	0,41
1030	12,2	18,2	28,4	0,41
1040	12,3	18,2	28,4	0,41
1050	12,5	18,4	28,4	0,41
1060	12,6	18,4	28,3	0,40
1070	12,8	18,5	28,2	0,39
1080	12,9	18,5	28,2	0,39
1090	13,0	18,6	28,2	0,39
1100	13,2	18,7	27,9	0,38
1110	13,5	18,6	27,9	0,35
1120	13,8	18,8	27,9	0,34
1130	14,0	19,0	27,8	0,34
1140	14,2	19,0	27,7	0,33
1150	14,3	19,1	27,6	0,33
1160	14,4	19,2	27,5	0,33
1170	14,6	19,2	27,5	0,32
1180	14,8	19,3	27,5	0,31
1190	14,9	19,5	27,5	0,32
1200	15,1	19,5	27,5	0,30
1210	15,3	19,8	27,5	0,31

3 : 1				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
1220	15,4	19,8	27,5	0,30
1230	15,6	19,9	27,5	0,30
1240	15,8	20,0	27,5	0,29
1250	16,0	20,3	27,5	0,30
1260	16,0	20,1	27,5	0,28
1270	16,2	20,3	27,7	0,28
1280	16,4	20,4	27,7	0,28
1290	16,6	20,4	27,7	0,26
1300	16,8	20,4	27,7	0,25
1310	17,0	20,6	25,2	0,25
1320	17,0	20,2	25,5	0,22
1330	17,0	20,2	25,5	0,22
1340	17,4	20,2	25,4	0,19
1350	17,6	20,7	25,8	0,21
1360	17,6	20,5	25,9	0,20
1370	17,8	20,6	26,0	0,19
1380	17,9	20,8	26,3	0,20
1390	18,1	21,0	26,8	0,20
1400	18,2	21,4	26,3	0,22
1410	18,2	21,4	26,2	0,22
1420	18,4	21,0	26,2	0,18
1430	18,5	21,4	26,8	0,20
1440	18,7	21,9	27,3	0,22
1450	18,8	21,7	27,5	0,20
1460	18,9	21,8	27,5	0,20
1470	19,1	22,1	28,3	0,21
1480	19,3	22,2	28,5	0,20
1490	19,4	22,4	28,5	0,21
1500	19,5	22,7	29,1	0,22
1510	19,8	22,7	29,1	0,20
1520	19,9	22,7	29,1	0,19
1530	20,0	22,6	29,1	0,18
1540	20,2	22,8	29,4	0,18



3 : 1				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
1550	20,4	22,7	29,9	0,16
1560	20,5	22,7	29,7	0,15
1570	20,8	23,1	29,7	0,16
1580	21,0	23,1	30,2	0,14
1590	21,0	23,1	30,2	0,14
1600	21,2	23,2	31,0	0,14
1610	21,3	23,7	31,0	0,17
1620	21,5	23,7	30,4	0,15
1630	21,6	23,5	30,4	0,13
1640	21,7	23,8	31,2	0,14
1650	21,9	23,8	31,4	0,13
1660	22,0	23,8	31,4	0,12
1670	22,1	23,8	31,5	0,12
1680	22,2	24,3	31,5	0,14
1690	22,3	24,3	31,5	0,14
1700	22,4	24,3	31,5	0,13
1710	22,6	24,3	32,1	0,12
1720	22,7	24,3	31,0	0,11
1730	22,8	25,0	31,5	0,15
1740	22,9	25,1	31,5	0,15
1750	23,0	25,1	31,5	0,14
1760	23,1	25,2	32,1	0,14
1770	23,2	25,6	31,9	0,17
1780	23,4	25,1	32,1	0,12
1790	23,5	25,3	31,9	0,12
1800	23,6	25,3	31,9	0,12
1810	23,7	25,3	31,9	0,11
1820	23,9	25,9	31,9	0,14
1830	23,9	26,0	31,9	0,14
1840	24,0	26,0	31,9	0,14
1850	24,1	26,0	31,9	0,13
1860	24,1	26,0	31,9	0,13
1870	24,3	26,0	31,9	0,12

3 : 1				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
1880	24,3	26,0	31,9	0,12
1890	24,4	26,0	32,1	0,11
1900	24,6	26,0	32,1	0,10
1910	24,7	26,0	32,1	0,09
1920	24,7	26,0	31,5	0,09
1930	24,9	26,1	31,5	0,08
1940	25,0	26,3	31,0	0,09
1950	25,0	26,8	31,8	0,12
1960	25,0	26,8	31,8	0,12
1970	25,1	26,8	31,8	0,12
1980	25,2	26,8	31,2	0,11
1990	25,3	26,1	30,4	0,06
2000	25,4	26,1	30,5	0,05
2010	25,5	26,8	30,5	0,09
2020	25,6	26,1	30,6	0,03
2030	25,6	26,1	30,2	0,03
2040	25,6	26,1	30,2	0,03
2050	25,7	26,4	29,7	0,05
2060	25,7	26,2	29,7	0,03
2070	25,7	26,2	29,7	0,03
2080	25,7	26,4	29,4	0,05
2090	25,6	26,4	29,4	0,06
2100	25,7	26,4	29,1	0,05
2110	25,7	26,4	29,5	0,05
2120	25,8	26,4	29,5	0,04
2130	25,8	26,4	29,1	0,04
2140	25,8	26,4	29,3	0,04
2150	25,8	26,8	29,1	0,07
2160	25,9	26,4	29,1	0,03
2170	25,9	26,4	29,1	0,03
2180	25,9	26,8	29,1	0,06
2190	26,0	26,8	28,8	0,06
2200	26,1	26,4	29,4	0,02

3 : 1				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
2210	26,1	26,4	29,4	0,02
2220	26,2	26,8	29,4	0,04
2230	26,3	26,8	29,4	0,03
2240	26,3	26,8	29,4	0,03
2250	26,3	26,8	29,4	0,03
2260	26,3	26,8	29,4	0,03
2270	26,4	26,8	29,4	0,03
2280	26,4	26,8	29,4	0,03
2290	26,5	26,8	29,4	0,02
2300	26,5	26,8	29,4	0,02
2310	26,5	26,8	29,4	0,02
2320	26,5	26,8	29,4	0,02
2330	26,6	26,8	29,1	0,01
2340	26,6	26,8	29,1	0,01
2350	26,6	26,8	29,1	0,01
2360	26,7	27,1	29,1	0,03
2370	26,7	27,1	29,1	0,03
2380	26,8	27,1	29,1	0,02
2390	26,8	27,1	29,1	0,02
2400	26,8	27,1	29,1	0,02
2410	26,8	27,1	29,1	0,02
2420	26,8	27,1	29,1	0,02
2430	26,8	27,1	29,1	0,02

3 : 1				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
2440	26,8	27,1	29,1	0,02
2450	26,9	27,1	29,1	0,01
2460	26,9	27,1	29,0	0,01
2470	26,9	27,1	29,0	0,01
2480	26,9	27,1	29,0	0,01
2490	26,9	27,1	28,7	0,01
2500	27,0	27,2	28,7	0,01
2510	27,0	27,2	28,6	0,01
2520	27,0	27,2	28,6	0,01
2530	27,0	27,2	28,6	0,01
2540	27,0	27,2	28,5	0,01
2550	27,0	27,2	28,5	0,01
2560	27,1	27,3	28,5	0,01
2570	27,1	27,3	28,5	0,01
2580	27,1	27,3	28,5	0,01
2590	27,1	27,3	28,5	0,01
2600	27,2	27,4	28,5	0,01
2610	27,2	27,4	28,5	0,01
2620	27,2	27,4	28,6	0,01
2630	27,2	27,4	28,6	0,01
2640	27,2	27,4	28,2	0,01
2650	27,2	27,4	28,2	0,01
2660	27,2	27,4	28,2	0,01

2 : 2				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
0	29,0	29,0	29,0	0,00
1	7,0	28,1	29,0	1,46
3	6,0	22,8	29,1	1,16
6	5,8	18,2	29,1	0,86
8	5,5	16,3	29,2	0,74
10	5,0	15,8	29,2	0,74
15	4,9	15,0	29,4	0,70

2 : 2				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
20	4,7	14,3	29,4	0,00
30	4,5	13,2	29,4	0,06
40	4,5	13,2	29,6	0,43
50	4,6	13,2	29,6	0,75
60	4,7	13,3	29,6	0,89
70	4,8	13,3	29,6	0,92
80	4,8	13,3	29,7	0,99

2 : 2				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
90	4,7	13,3	29,8	0,59
100	4,6	12,7	29,9	0,56
110	4,6	12,5	30,1	0,54
120	4,7	12,6	30,3	0,54
130	4,7	12,7	30,3	0,55
140	4,7	12,2	30,4	0,52
150	4,7	12,2	30,4	0,52
160	4,7	12,3	30,6	0,52
170	4,8	12,4	30,8	0,52
180	4,8	12,5	30,8	0,53
190	4,8	12,7	30,9	0,54
200	4,8	12,6	30,9	0,54
210	4,8	12,3	30,8	0,52
220	4,9	12,3	31,0	0,51
230	4,8	12,2	31,0	0,51
240	4,9	12,3	31,2	0,51
250	4,8	12,3	31,4	0,52
260	4,9	12,5	31,6	0,52
270	4,9	12,4	31,8	0,52
280	4,9	12,6	31,6	0,53
290	4,9	12,6	31,5	0,53
300	4,9	12,6	31,5	0,53
310	4,9	12,6	31,7	0,53
320	4,9	12,6	31,6	0,53
330	4,9	12,8	31,5	0,54
340	5	12,8	31,5	0,54
350	5	12,9	31,4	0,54
360	5	12,9	31,3	0,54
370	5,1	13	31,1	0,54
380	5,1	13	31,1	0,54
390	5,2	13,1	31,2	0,54
400	5,2	13,1	31,3	0,54
410	5,3	13,1	31,2	0,54

2 : 2				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
420	5,4	13,2	31,0	0,54
430	5,5	13,3	31,0	0,54
440	5,6	13,3	30,9	0,53
450	5,7	13,3	30,9	0,52
460	5,8	13,4	30,9	0,52
470	5,9	13,4	30,9	0,52
480	6,0	13,4	30,9	0,51
490	6,0	13,4	30,8	0,51
500	6,1	13,4	30,9	0,50
510	6,2	13,6	31,0	0,51
520	6,3	13,6	30,9	0,50
530	6,4	13,6	30,8	0,50
540	6,5	13,6	30,6	0,49
550	6,7	13,6	30,6	0,48
560	6,9	13,6	30,6	0,46
570	7,0	13,6	30,3	0,46
580	7,0	13,6	30,3	0,46
590	7,1	14,0	30,2	0,48
600	7,2	14,0	30,2	0,47
610	7,4	14,0	30,1	0,46
620	7,5	14,0	29,8	0,45
630	7,7	14,2	29,7	0,45
640	7,9	14,7	29,6	0,47
650	8,1	14,7	29,6	0,46
660	8,3	15,0	29,5	0,46
670	8,5	14,7	29,6	0,43
680	8,6	14,9	29,6	0,43
690	8,7	14,9	29,6	0,43
700	8,9	14,9	29,6	0,41
710	9,0	14,9	29,3	0,41
720	9,0	14,9	29,2	0,41
730	9,0	14,9	29,1	0,41
740	9,1	15,1	29,1	0,41

2 : 2				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
750	9,2	15,1	29,1	0,41
760	9,5	15,2	29,0	0,39
770	9,5	15,2	29,0	0,39
780	9,6	15,4	29,0	0,40
790	9,7	15,4	29,0	0,39
800	9,8	15,5	29,0	0,39
810	9,9	15,5	29,3	0,39
820	9,9	15,6	29,3	0,39
830	10	15,6	29,3	0,39
840	10	15,8	29,3	0,40
850	10,1	15,8	28,9	0,39
860	10,1	15,8	28,9	0,39
870	10,3	15,6	28,9	0,37
880	10,4	16	28,9	0,39
890	10,5	16	28,8	0,38
900	10,6	16,2	28,8	0,39
910	10,7	16,4	28,8	0,39
920	10,7	16,4	28,8	0,39
930	10,8	16,8	28,8	0,41
940	10,9	16,5	28,8	0,39
950	11,0	16,5	28,7	0,38
960	11,2	16,2	28,7	0,34
970	11,4	16,4	28,7	0,34
980	11,6	16,5	28,7	0,34
990	11,8	16,6	28,7	0,33
1000	12	17	28,6	0,34
1010	12,3	16,8	28,6	0,31
1020	12,5	16,8	28,6	0,30
1030	12,5	17,1	28,5	0,32
1040	12,6	17,2	28,5	0,32
1050	12,8	16,8	28,6	0,28
1060	12,9	16,9	28,7	0,28
1070	13	17	28,8	0,28

2 : 2				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
1080	13,1	17,0	28,8	0,27
1090	13,2	17,2	28,7	0,28
1100	13,5	17,4	28,7	0,27
1110	13,6	17,4	28,6	0,26
1120	13,7	17,8	28,6	0,28
1130	13,8	17,8	28,5	0,28
1140	13,8	17,8	28,5	0,28
1150	13,9	17,9	28,4	0,28
1160	14,0	18,0	28,5	0,28
1170	14,2	18,0	28,7	0,26
1180	14,4	18,0	28,8	0,25
1190	14,6	18,2	28,8	0,25
1200	14,8	18,2	28,7	0,23
1210	15,0	18,3	28,7	0,23
1220	15,2	18,3	28,7	0,21
1230	15,4	18,5	28,7	0,21
1240	15,7	18,8	28,7	0,21
1250	15,9	19,0	28,7	0,21
1260	16,0	18,5	28,6	0,17
1270	16,1	18,7	28,6	0,18
1280	16,2	18,9	28,6	0,19
1290	16,5	19,2	28,0	0,19
1300	16,9	19,2	28,2	0,16
1310	17,0	19,4	27,9	0,17
1320	17,1	19,5	27,8	0,17
1330	17,3	19,5	28,0	0,15
1340	17,4	19,5	28,0	0,14
1350	17,5	19,7	28,2	0,15
1360	17,5	19,9	28,3	0,17
1370	17,7	19,8	28,6	0,14
1380	18,0	20,0	29,0	0,14
1390	18,1	20,2	29,0	0,14
1400	18,3	20,2	29,0	0,13

2:2				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
1410	18,5	20,5	28,9	0,14
1420	18,7	20,7	29	0,14
1430	18,9	20,8	29	0,13
1440	19	20,9	29,3	0,13
1450	19,1	20,9	29,2	0,12
1460	19,3	21,3	29,3	0,14
1470	19,4	21,3	29,1	0,13
1480	19,6	21,3	29	0,12
1490	19,7	21,6	29,1	0,13
1500	19,9	21,4	29,3	0,10
1510	20	21,4	29,3	0,10
1520	20,1	21,4	29,6	0,09
1530	20,2	21,8	29,6	0,11
1540	20,3	22	29,8	0,12
1550	20,5	22	29,9	0,10
1560	20,6	22,1	30,3	0,10
1570	20,8	22,1	30,8	0,09
1580	20,9	22,7	30,6	0,12
1590	21	23	30,6	0,14
1600	21,1	23	30,8	0,13
1610	21,3	23	30,7	0,12
1620	21,4	23	30,8	0,11
1630	21,6	23,1	30,9	0,10
1640	21,8	23,2	30,8	0,10
1650	21,9	23,1	30,8	0,08
1660	22	23,2	30,9	0,08
1670	22	23,4	31	0,10
1680	22,1	23,2	31	0,08
1690	22,3	23,9	31,1	0,11
1700	22,4	23,9	31,3	0,10
1710	22,6	23,8	31,3	0,08
1720	22,7	23,6	31,3	0,06
1730	22,8	23,6	31,2	0,06

2:2				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
1740	22,9	23,6	31,1	0,05
1750	23,1	24,1	31,5	0,07
1760	23,1	24,2	31,4	0,08
1770	23,3	24,2	31,6	0,06
1780	23,4	24,7	31,5	0,09
1790	23,6	24,2	31,3	0,04
1800	23,6	24,2	31,1	0,04
1810	23,8	24,2	31	0,03
1820	23,9	24,3	30,9	0,03
1830	23,9	24,3	31,1	0,03
1840	24	24,3	31,2	0,02
1850	24	24,3	31,2	0,02
1860	24,1	25,2	31,2	0,08
1870	24,1	25,1	31,1	0,07
1880	24,2	25,1	31	0,06
1890	24,3	25,7	31	0,10
1900	24,4	25,7	30,9	0,09
1910	24,6	26	31	0,10
1920	24,6	26	30,9	0,10
1930	24,7	26	30,8	0,09
1940	24,8	26	30,9	0,08
1950	24,9	26	30,9	0,08
1960	25	26	30,9	0,07
1970	25	26	30,8	0,07
1980	25	26	30,8	0,07
1990	25,1	26	30,8	0,06
2000	25,1	26	30,8	0,06
2010	25,2	26	30,5	0,06
2020	25,3	26	30,5	0,05
2030	25,3	26	30,7	0,05
2040	25,4	25,9	30,3	0,03
2050	25,6	25,9	30,2	0,02
2060	25,7	26,1	30,1	0,03

2:2				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
2070	25,8	26,1	30	0,02
2080	25,8	26,1	29,8	0,02
2090	25,9	26,1	29,8	0,01
2100	25,9	26,2	29,6	0,02
2110	26	26,2	29,6	0,01
2120	26	26,2	29,6	0,01
2130	26	26,2	29,6	0,01
2140	26,1	26,2	29,6	0,01
2150	26,1	26,2	29,6	0,01
2160	26,1	26,2	29,6	0,01
2170	26,2	26,3	29,6	0,01
2180	26,2	26,4	29,3	0,01
2190	26,3	26,4	30	0,01
2200	26,3	27,1	29,8	0,06
2210	26,4	27,1	29,9	0,05
2220	26,5	27,1	29,6	0,04
2230	26,6	27,1	29,6	0,03
2240	26,6	27,1	29,6	0,03
2250	26,6	26,7	29,4	0,01
2260	26,7	26,7	29,9	0,00
2270	26,7	26,7	29,5	0,00
2280	26,7	26,8	29,5	0,01
2290	26,7	26,7	29,6	0,00
2300	26,8	26,8	29,6	0,00
2310	26,8	26,8	29,1	0,00
2320	26,8	26,9	29,1	0,01
2330	26,8	26,9	29,1	0,01
2340	26,9	26,9	28,9	0,00
2350	26,9	26,9	29	0,00
2360	26,9	26,9	29,1	0,00

2:2				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
2370	26,9	26,9	29,1	0,00
2380	26,9	26,9	29,1	0,00
2390	27	26,9	29,1	0,01
2400	27	26,9	29,3	0,01
2410	27	26,9	29,3	0,01
2420	27	26,9	29,3	0,01
2430	27,1	26,9	29,3	0,01
2440	27,1	26,9	29,5	0,01
2450	27,1	27,2	29,6	0,01
2460	27,1	27,6	29,6	0,03
2470	27,2	27,7	29,6	0,03
2480	27,2	27,6	29,2	0,03
2490	27,2	27,6	29,2	0,03
2500	27,2	27,6	29,1	0,03
2510	27,2	27,6	29,1	0,03
2520	27,3	27,6	29,1	0,02
2530	27,3	27,6	28,9	0,02
2540	27,3	27,6	28,9	0,02
2550	27,3	27,6	28,9	0,02
2560	27,4	27,6	28,9	0,01
2570	27,4	27,6	29	0,01
2580	27,4	27,6	29	0,01
2590	27,4	27,6	29	0,01
2600	27,5	27,6	29,4	0,01
2610	27,5	27,7	29,4	0,01
2620	27,5	27,7	29,4	0,01
2630	27,5	27,7	29,4	0,01
2640	27,6	27,8	29,6	0,01
2650	27,6	27,8	29,6	0,01
2660	27,7	27,9	29,6	0,01

1:3				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
0	28,5	28,5	28,5	0
1	18,0	24,5	28,4	0,45
3	14,6	22,2	28,4	0,52
6	12,9	20,4	28,6	0,52
8	11,3	19,4	28,8	0,56
10	10,8	18,9	28,8	0,56
15	9,0	18,1	28,9	0,63
20	7,9	17,3	29,1	0,65
30	6,9	16,1	29,3	0,63
40	6,2	15,4	29,4	0,63
50	6,2	14,8	29,6	0,59
60	6,0	14,3	29,6	0,57
70	5,9	13,9	29,6	0,55
80	5,4	13,7	29,7	0,57
90	5,5	13,5	29,9	0,55
100	5,6	13,2	29,9	0,52
110	5,5	13,2	29,9	0,53
120	5,5	13,2	29,9	0,53
130	5,6	13,1	30,0	0,52
140	5,5	12,9	30,4	0,51
150	5,5	12,9	30,6	0,51
160	5,5	12,9	30,7	0,51
170	5,5	12,9	30,8	0,51
180	5,5	12,9	31,0	0,51
190	5,5	12,9	30,9	0,51
200	5,5	13,0	31,0	0,52
210	5,5	13,0	31,1	0,52
220	5,6	13,0	31,2	0,51
230	5,6	13,1	31,4	0,52
240	5,6	13,2	31,5	0,52
250	5,6	13,2	31,6	0,52
260	5,6	13,2	31,5	0,52
270	5,6	13,3	31,5	0,53

1:3				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
280	5,7	13,4	31,5	0,53
290	5,6	13,5	31,8	0,54
300	5,7	13,5	32,0	0,54
310	5,7	13,5	31,5	0,54
320	5,8	13,5	31,6	0,53
330	5,8	13,5	31,7	0,53
340	5,8	13,5	31,7	0,53
350	5,8	13,6	31,7	0,54
360	5,8	13,7	31,9	0,54
370	5,8	13,7	31,6	0,54
380	5,8	13,6	31,5	0,54
390	5,9	13,7	31,7	0,54
400	6,0	13,7	31,4	0,53
410	6,0	13,7	31,6	0,53
420	6,0	13,7	31,8	0,53
430	6,0	13,8	31,9	0,54
440	6,1	13,9	31,8	0,54
450	6,2	13,9	31,8	0,53
460	6,3	13,9	31,7	0,52
470	6,3	13,9	31,7	0,52
480	6,3	13,9	31,6	0,52
490	6,3	13,9	31,4	0,52
500	6,4	13,9	31,3	0,52
510	6,5	13,9	31,1	0,51
520	6,4	13,9	31,1	0,52
530	6,5	13,9	30,9	0,51
540	6,6	13,9	30,8	0,50
550	6,6	13,9	30,8	0,50
560	6,6	14,0	30,7	0,51
570	6,6	14,0	30,5	0,51
580	6,6	14,0	30,4	0,51
590	6,6	14,1	30,4	0,52
600	6,6	14,1	30,3	0,52

1:3				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
610	6,6	14,2	30,3	0,52
620	6,7	14,2	30,2	0,52
630	6,7	14,2	30,2	0,52
640	6,7	14,2	30,1	0,52
650	6,9	14,2	30,0	0,50
660	6,9	14,3	30,0	0,51
670	6,9	14,4	30,1	0,52
680	6,9	14,4	30,1	0,52
690	7,0	14,5	30,1	0,52
700	7,0	14,5	30,1	0,52
710	7,0	14,7	30,0	0,53
720	7,0	14,7	30,0	0,53
730	7,1	14,8	29,9	0,53
740	7,1	14,7	30,0	0,52
750	7,2	14,8	29,9	0,52
760	7,3	14,9	29,9	0,52
770	7,3	14,9	29,9	0,52
780	7,4	14,9	29,8	0,52
790	7,4	14,9	29,8	0,52
800	7,4	14,9	29,8	0,52
810	7,4	15,0	29,8	0,52
820	7,4	15,1	29,6	0,53
830	7,4	15,1	29,6	0,53
840	7,4	15,1	29,5	0,53
850	7,4	15,1	29,6	0,53
860	7,5	15,2	29,4	0,53
870	7,6	15,3	29,4	0,53
880	7,8	15,4	29,7	0,52
890	7,8	15,4	29,7	0,52
900	7,9	15,5	29,7	0,52
910	8,0	15,5	29,6	0,52
920	8,1	15,6	29,6	0,52
930	8,1	15,6	29,7	0,52

1:3				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
940	8,2	15,7	29,7	0,52
950	8,3	15,8	29,6	0,52
960	8,3	15,8	29,6	0,52
970	8,5	15,9	29,6	0,51
980	8,6	15,9	29,6	0,50
990	8,7	16,1	29,6	0,51
1000	8,7	16,1	29,6	0,51
1010	8,8	16,1	29,6	0,50
1020	8,9	16,1	29,5	0,50
1030	9,3	16,1	29,3	0,47
1040	9,3	16,2	29,3	0,48
1050	9,6	16,2	29,2	0,46
1060	9,6	16,3	29,2	0,46
1070	9,8	16,3	29,0	0,45
1080	9,8	16,3	28,9	0,45
1090	10,0	16,4	28,7	0,44
1100	10,0	16,4	28,7	0,44
1110	10,2	16,5	28,6	0,43
1120	10,3	16,6	28,5	0,43
1130	10,4	16,7	28,5	0,43
1140	10,5	16,7	28,7	0,43
1150	10,6	16,8	28,5	0,43
1160	10,9	17,0	28,3	0,42
1170	11,0	17,1	28,4	0,42
1180	11,0	17,2	28,2	0,43
1190	11,2	17,3	28,0	0,42
1200	11,5	17,3	27,9	0,40
1210	11,6	17,4	27,9	0,40
1220	11,7	17,5	28,0	0,40
1230	11,7	17,6	28,6	0,41
1240	12,0	17,7	28,5	0,39
1250	12,1	17,9	28,6	0,40
1260	12,3	17,9	28,4	0,39



1:3				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
1270	12,5	18,0	28,6	0,38
1280	12,7	18,1	28,3	0,37
1290	12,9	18,2	28,5	0,37
1300	13,0	18,3	28,5	0,37
1310	13,2	18,4	28,0	0,36
1320	13,4	18,4	27,9	0,34
1330	13,5	18,5	27,6	0,34
1340	13,6	18,5	27,4	0,34
1350	13,8	18,5	27,2	0,32
1360	14,0	18,6	27,2	0,32
1370	14,1	18,7	27,2	0,32
1380	14,2	18,7	27,3	0,31
1390	14,5	18,9	27,3	0,30
1400	14,6	18,9	27,3	0,30
1410	14,8	19,1	27,4	0,30
1420	15,0	19,2	27,4	0,29
1430	15,2	19,3	27,6	0,28
1440	15,2	19,3	27,6	0,28
1450	15,5	19,5	27,6	0,28
1460	15,6	19,6	27,6	0,28
1470	15,8	19,7	27,8	0,27
1480	16,0	19,9	27,9	0,27
1490	16,1	20,0	28,0	0,27
1500	16,3	20,3	28,1	0,28
1510	16,4	20,3	28,3	0,27
1520	16,6	20,4	28,2	0,26
1530	16,8	20,5	28,4	0,26
1540	16,9	20,6	28,6	0,26
1550	16,9	20,8	28,5	0,27
1560	17,0	20,9	28,6	0,27
1570	17,3	21,1	28,7	0,26
1580	17,3	21,2	28,6	0,27
1590	17,5	21,3	28,7	0,26

1:3				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
1600	17,6	21,4	28,8	0,26
1610	17,7	21,5	28,7	0,26
1620	17,8	21,5	28,6	0,26
1630	18,1	21,7	28,9	0,25
1640	18,3	21,7	29,0	0,23
1650	18,4	21,8	29,0	0,23
1660	18,6	21,8	29,1	0,22
1670	18,7	21,9	29,0	0,22
1680	18,8	21,9	29,3	0,21
1690	18,9	22,0	29,3	0,21
1700	18,9	22,2	29,3	0,23
1710	19,0	22,3	29,5	0,23
1720	19,2	22,4	29,6	0,22
1730	19,4	22,4	29,7	0,21
1740	19,6	22,6	29,9	0,21
1750	19,8	22,8	29,9	0,21
1760	19,9	22,8	29,7	0,20
1770	19,9	22,9	29,8	0,21
1780	19,9	22,9	29,7	0,21
1790	20,0	22,9	29,8	0,20
1800	20,2	23,2	29,7	0,21
1810	20,2	23,1	29,7	0,20
1820	20,4	23,2	29,7	0,19
1830	20,5	23,3	29,9	0,19
1840	20,6	23,4	29,9	0,19
1850	20,8	23,5	29,9	0,19
1860	20,9	23,6	30,0	0,19
1870	21,0	23,8	30,2	0,19
1880	21,1	23,8	30,3	0,19
1890	21,1	24,0	30,1	0,20
1900	21,3	24,2	29,9	0,20
1910	21,3	24,2	29,9	0,20
1920	21,4	24,3	29,9	0,20

1:3				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
1930	21,6	24,4	29,7	0,19
1940	21,8	24,5	29,6	0,19
1950	21,9	24,4	29,6	0,17
1960	22,0	24,4	29,4	0,17
1970	22,0	24,4	29,3	0,17
1980	22,0	24,5	29,4	0,17
1990	22,0	24,5	29,3	0,17
2000	22,2	24,5	29,1	0,16
2010	22,3	24,5	29,1	0,15
2020	22,3	24,6	29,3	0,16
2030	22,5	24,7	28,8	0,15
2040	22,6	24,8	28,7	0,15
2050	22,6	24,8	28,9	0,15
2060	22,8	24,8	28,9	0,14
2070	22,8	24,9	28,9	0,14
2080	22,9	24,9	28,9	0,14
2090	23,0	24,9	28,7	0,13
2100	23,0	24,9	28,8	0,13
2110	23,1	25,1	28,4	0,14
2120	23,1	25,0	28,1	0,13
2130	23,2	25,0	28,0	0,12
2140	23,2	25,0	28,0	0,12
2150	23,3	25,1	28,1	0,12
2160	23,4	25,0	27,7	0,11
2170	23,5	25,0	27,7	0,10
2180	23,6	25,1	27,8	0,10
2190	23,6	25,0	27,6	0,10
2200	23,6	25,0	27,5	0,10
2210	23,8	25,1	27,6	0,09
2220	23,8	25,1	27,5	0,09
2230	23,8	25,3	27,5	0,10
2240	23,9	25,2	27,8	0,09
2250	23,9	25,2	27,8	0,09

1:3				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
2260	23,9	25,3	27,8	0,10
2270	23,9	25,4	27,9	0,10
2280	24,0	25,4	28,0	0,10
2290	24,0	25,4	27,5	0,10
2300	24,0	25,4	27,3	0,10
2310	24,0	25,5	28,1	0,10
2320	24,0	25,5	28,4	0,10
2330	24,1	25,5	28,5	0,10
2340	24,1	25,7	28,5	0,11
2350	24,2	25,8	28,5	0,11
2360	24,2	25,8	28,5	0,11
2370	24,3	25,8	28,6	0,10
2380	24,3	25,9	28,6	0,11
2390	24,4	25,9	28,6	0,10
2400	24,4	25,9	28,4	0,10
2410	24,4	25,9	28,4	0,10
2420	24,4	25,9	28,5	0,10
2430	24,6	26,0	28,5	0,10
2440	24,6	26,0	28,5	0,10
2450	24,6	26,0	28,3	0,10
2460	24,6	26,1	28,4	0,10
2470	24,8	26,1	28,6	0,09
2480	24,8	26,1	28,6	0,09
2490	24,8	26,2	28,2	0,10
2500	24,9	26,2	28,3	0,09
2510	24,9	26,2	28,3	0,09
2520	24,9	26,2	28,2	0,09
2530	24,9	26,2	28,5	0,09
2540	25,0	26,2	28,5	0,08
2550	25,0	26,2	28,6	0,08
2560	25,1	26,3	28,6	0,08
2570	25,1	26,3	28,5	0,08
2580	25,2	26,4	28,4	0,08

1:3				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
2590	25,2	26,4	28,4	0,08
2600	25,2	26,4	28,4	0,08
2610	25,2	26,4	28,4	0,08
2620	25,3	26,4	28,4	0,08

1:3				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
2630	25,3	26,5	28,4	0,08
2640	25,3	26,5	28,4	0,08
2650	25,3	26,6	28,4	0,09
2660	25,3	26,6	28,4	0,09

0:4				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
0	28,9	28,9	28,9	0
1	22,1	26,1	28,8	0,28
3	18,0	22,9	29,0	0,34
6	15,1	20,5	29,3	0,37
8	13,3	19,3	29,3	0,41
10	12,3	18,6	29,3	0,43
15	11,1	18,0	29,5	0,48
20	10,3	17,5	29,6	0,50
30	9,5	16,5	29,6	0,48
40	8,9	15,8	29,9	0,48
50	8,4	15,2	29,9	0,47
60	8,1	14,6	29,9	0,45
70	7,9	14,2	30,0	0,43
80	7,7	13,8	30,1	0,42
90	7,5	13,4	30,3	0,41
100	7,3	13,2	30,3	0,41
110	7,1	13,1	30,3	0,41
120	6,9	12,8	30,3	0,41
130	6,6	12,7	30,7	0,42
140	6,5	12,6	30,6	0,42
150	6,6	12,5	30,7	0,41
160	6,6	12,4	31,0	0,40
170	6,6	12,4	30,9	0,40
180	6,6	12,3	31,0	0,39
190	6,6	12,3	31,4	0,39
200	6,6	12,2	31,4	0,39

0:4				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
210	6,6	12,2	31,8	0,39
220	6,6	12,3	31,5	0,39
230	6,3	12,3	31,9	0,41
240	6,3	12,3	31,8	0,41
250	6,3	12,3	31,8	0,41
260	6,3	12,3	31,9	0,41
270	6,5	12,4	32,1	0,41
280	6,3	12,4	32,1	0,42
290	6,3	12,4	31,9	0,42
300	6,3	12,3	31,8	0,41
310	6,3	12,4	31,8	0,42
320	6,3	12,4	32,2	0,42
330	6,4	12,5	32,3	0,42
340	6,6	12,5	32,1	0,41
350	6,4	12,5	32,2	0,42
360	6,4	12,5	32,1	0,42
370	6,4	12,6	32,1	0,43
380	6,5	12,5	32,3	0,41
390	6,5	12,6	32,3	0,42
400	6,5	12,6	31,9	0,42
410	6,5	12,6	32,3	0,42
420	6,6	12,8	32,0	0,43
430	6,6	12,8	31,7	0,43
440	6,6	12,8	31,9	0,43
450	6,6	12,8	31,9	0,43
460	6,6	12,8	31,6	0,43

0:4				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
470	6,6	12,8	31,5	0,43
480	6,7	12,8	31,5	0,42
490	6,8	12,8	31,6	0,41
500	6,9	12,8	31,4	0,41
510	6,9	12,9	31,1	0,41
520	6,9	12,9	30,9	0,41
530	6,9	12,9	30,9	0,41
540	6,8	12,9	30,9	0,42
550	6,8	12,9	30,8	0,42
560	6,9	12,9	30,7	0,41
570	6,9	13,0	30,9	0,42
580	6,9	13,1	30,4	0,43
590	7,0	13,2	29,7	0,43
600	7,0	13,1	29,3	0,42
610	7,0	13,1	29,4	0,42
620	7,0	13,1	28,2	0,42
630	7,0	12,9	29,0	0,41
640	7,0	12,9	28,8	0,41
650	7,2	12,9	28,2	0,39
660	7,1	12,9	27,8	0,40
670	7,1	12,9	27,7	0,40
680	7,1	12,9	27,6	0,40
690	7,1	12,9	27,1	0,40
700	7,1	12,9	27,2	0,40
710	7,1	13,1	27,5	0,41
720	7,1	13,1	27,8	0,41
730	7,2	13,2	27,3	0,41
740	7,2	13,1	27,2	0,41
750	7,2	13,3	27,4	0,42
760	7,5	13,4	28,6	0,41
770	7,4	13,4	29,0	0,41
780	7,4	13,5	28,9	0,42
790	7,5	13,5	28,9	0,41

0:4				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
800	7,5	13,7	29,0	0,43
810	7,8	13,7	28,9	0,41
820	7,7	13,8	29,0	0,42
830	7,7	13,9	29,0	0,43
840	7,8	13,9	28,9	0,42
850	7,9	14,0	28,9	0,42
860	8,0	14,1	28,8	0,42
870	8,0	14,2	28,8	0,43
880	8,1	14,2	28,8	0,42
890	8,1	14,3	28,8	0,43
900	8,3	14,4	28,9	0,42
910	8,3	14,4	28,9	0,42
920	8,4	14,4	28,9	0,41
930	8,5	14,5	28,9	0,41
940	8,6	14,6	28,7	0,41
950	8,8	14,6	28,8	0,40
960	8,8	14,7	28,8	0,41
970	8,9	14,8	28,8	0,41
980	9,0	14,8	28,9	0,40
990	9,1	14,9	28,9	0,40
1000	9,2	15,0	28,9	0,40
1010	9,2	15,1	28,9	0,41
1020	9,3	15,1	28,8	0,40
1030	9,4	15,3	28,7	0,41
1040	9,5	15,4	28,2	0,41
1050	9,6	15,4	28,3	0,40
1060	9,8	15,5	28,5	0,39
1070	9,9	15,5	28,6	0,39
1080	10,0	15,7	28,5	0,39
1090	10,3	15,7	28,4	0,37
1100	10,4	15,8	28,1	0,37
1110	10,5	15,9	28,0	0,37
1120	10,6	15,9	28,3	0,37

0:4				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
1130	10,8	16,0	27,1	0,36
1140	10,9	16,1	27,4	0,36
1150	11,0	16,3	27,6	0,37
1160	11,1	16,4	27,8	0,37
1170	11,2	16,4	27,9	0,36
1180	11,4	16,5	27,8	0,35
1190	11,5	16,5	27,9	0,34
1200	11,8	16,7	28,0	0,34
1210	11,7	16,7	27,7	0,34
1220	11,8	16,8	27,4	0,34
1230	11,9	16,9	27,3	0,34
1240	12,0	16,9	27,0	0,34
1250	12,1	17,0	26,9	0,34
1260	12,3	17,0	26,8	0,32
1270	12,4	17,1	26,6	0,32
1280	12,5	17,1	26,8	0,32
1290	12,6	17,1	26,9	0,31
1300	12,8	17,2	26,8	0,30
1310	12,9	17,2	26,9	0,30
1320	13,0	17,2	26,9	0,29
1330	13,0	17,2	26,9	0,29
1340	13,1	17,2	26,8	0,28
1350	13,2	17,3	26,8	0,28
1360	13,3	17,2	26,6	0,27
1370	13,5	17,3	26,8	0,26
1380	13,6	17,4	26,9	0,26
1390	13,8	17,4	27,0	0,25
1400	13,9	17,5	27,0	0,25
1410	14,0	17,6	27,0	0,25
1420	14,0	17,7	27,2	0,26
1430	14,1	17,8	27,4	0,26
1440	14,3	17,9	27,5	0,25
1450	14,5	17,9	27,9	0,23

0:4				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
1460	14,6	18,0	28,0	0,23
1470	14,7	18,2	28,0	0,24
1480	14,8	18,3	28,1	0,24
1490	15,0	18,5	28,3	0,24
1500	15,1	18,8	28,3	0,26
1510	15,3	18,9	28,6	0,25
1520	15,4	18,9	28,9	0,24
1530	15,6	19,1	29,0	0,24
1540	15,9	19,2	28,9	0,23
1550	16,0	19,3	29,3	0,23
1560	16,1	19,4	29,4	0,23
1570	16,2	19,5	29,4	0,23
1580	16,4	19,8	29,8	0,23
1590	16,6	19,9	29,8	0,23
1600	16,9	20,1	29,8	0,22
1610	16,9	20,2	29,9	0,23
1620	16,9	20,3	29,9	0,23
1630	17,1	20,4	30,0	0,23
1640	17,2	20,6	30,1	0,23
1650	17,3	20,7	30,3	0,23
1660	17,5	20,8	30,4	0,23
1670	17,6	21,1	30,4	0,24
1680	17,8	21,1	30,3	0,23
1690	18,0	21,2	30,3	0,22
1700	18,1	21,3	30,5	0,22
1710	18,4	21,4	30,4	0,21
1720	18,5	21,5	30,5	0,21
1730	18,6	21,7	30,9	0,21
1740	18,9	21,8	30,8	0,20
1750	19,0	21,8	31,1	0,19
1760	19,0	21,9	31,0	0,20
1770	19,1	22,0	31,0	0,20
1780	19,1	22,1	31,0	0,21

0:4				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
1790	19,3	22,3	31,6	0,21
1800	19,6	22,4	31,8	0,19
1810	19,8	22,5	31,7	0,19
1820	19,9	22,8	31,5	0,20
1830	19,9	22,8	31,7	0,20
1840	20,0	23,0	31,8	0,21
1850	20,1	23,0	31,9	0,20
1860	20,2	23,2	31,6	0,21
1870	20,3	23,2	31,7	0,20
1880	20,6	23,3	31,6	0,19
1890	20,6	23,4	31,6	0,19
1900	20,8	23,4	31,7	0,18
1910	20,9	23,5	31,4	0,18
1920	20,9	23,5	31,3	0,18
1930	20,9	23,6	31,4	0,19
1940	21,0	23,7	31,3	0,19
1950	21,1	23,8	31,3	0,19
1960	21,3	23,9	31,3	0,18
1970	21,4	24,0	31,6	0,18
1980	21,5	24,1	31,7	0,18
1990	21,6	24,2	30,8	0,18
2000	21,7	24,2	30,8	0,17
2010	21,9	24,3	30,7	0,17
2020	21,9	24,3	30,7	0,17
2030	21,9	24,4	30,7	0,17
2040	22,0	24,4	30,5	0,17
2050	22,1	24,4	30,5	0,16
2060	22,2	24,4	30,3	0,15
2070	22,2	24,5	30,3	0,16
2080	22,3	24,5	30,3	0,15
2090	22,3	24,5	30,3	0,15
2100	22,5	24,6	30,2	0,14
2110	22,6	24,7	30,1	0,14

0:4				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
2120	22,8	24,7	30,1	0,13
2130	22,8	24,8	30,1	0,14
2140	22,8	24,9	30,1	0,14
2150	22,9	24,9	30,0	0,14
2160	22,9	24,9	30,0	0,14
2170	23,0	24,9	30,0	0,13
2180	23,1	25,1	29,9	0,14
2190	23,1	25,0	29,9	0,13
2200	23,1	25,1	30,0	0,14
2210	23,2	25,2	29,9	0,14
2220	23,3	25,2	30,0	0,13
2230	23,4	25,4	29,9	0,14
2240	23,4	25,4	30,0	0,14
2250	23,5	25,4	29,9	0,13
2260	23,6	25,4	29,7	0,12
2270	23,7	25,5	30,0	0,12
2280	23,7	25,5	30,0	0,12
2290	23,8	25,5	30,1	0,12
2300	23,9	25,6	30,1	0,12
2310	23,9	25,7	30,0	0,12
2320	24,0	25,7	30,2	0,12
2330	24,0	25,8	30,1	0,12
2340	24,0	25,8	30,0	0,12
2350	24,1	25,9	30,0	0,12
2360	24,2	25,9	30,0	0,12
2370	24,3	25,9	30,0	0,11
2380	24,3	26,0	30,0	0,12
2390	24,4	26,0	29,9	0,11
2400	24,5	26,1	29,9	0,11
2410	24,5	26,2	29,9	0,12
2420	24,6	26,2	29,8	0,11
2430	24,6	26,2	29,7	0,11
2440	24,7	26,2	29,6	0,10

0:4				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
2450	24,7	26,2	29,5	0,10
2460	24,7	26,2	29,4	0,10
2470	24,7	26,2	29,4	0,10
2480	24,8	26,2	29,4	0,10
2490	24,9	26,2	29,3	0,09
2500	24,9	26,2	29,0	0,09
2510	24,9	26,2	29,1	0,09
2520	25,0	26,2	29,1	0,08
2530	25,0	26,3	28,9	0,09
2540	25,0	26,3	29,0	0,09
2550	25,2	26,3	28,9	0,08

0:4				
t	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	Delta
2560	25,2	26,3	28,8	0,08
2570	25,2	26,3	28,7	0,08
2580	25,3	26,3	28,6	0,07
2590	25,3	26,3	28,5	0,07
2600	25,3	26,4	28,4	0,08
2610	25,3	26,4	28,4	0,08
2620	25,3	26,4	28,4	0,08
2630	25,3	26,4	28,3	0,08
2640	25,5	26,4	28,0	0,06
2650	25,5	26,4	27,9	0,06
2660	25,5	26,4	27,7	0,06

## BIODATA PENULIS



Andri Cahya Saputra dilahirkan di Kota Sidoarjo, tanggal 7 Januari 1995. Penulis adalah putra pertama dari dua bersaudara pasangan Arifin dan Akhrul Yanti. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari SD Negeri Sidokerto I, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 2 Buduran, Sidoarjo kemudian SMA Negeri 4 Sidoarjo. Selanjutnya penulis menempuh pendidikan Sarjana atau Strata-1 di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SNMPTN pada tahun 2013. Di Departemen Teknik Sistem Perkapalan penulis mengambil bidang studi *Marine Machinery And System* (MMS). Sebagai seorang mahasiswa, penulis aktif dalam kegiatan kemahasiswaan yaitu anggota Divisi Media LDJ Al Mi'raj selama 2013-2014. Penulis juga aktif sebagai Grader Praktikum Mesin Fluida Pipa Air tahun 2016-2017. Selain itu penulis juga pernah melaksanakan kerja praktik di PT. Dok Perkapalan Surabaya dan Biro Klasifikasi Indonesia Cabang Madya Klas Semarang.